



PROYECTO FIN DE CARRERA

**PROYECTO DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
EN TOGO**

DEPARTAMENTO: MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

AUTOR: JESÚS SERRANO ALONSO

TUTOR: CARLOS SANTIUSTE ROMERO

TITULACIÓN: INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL MECÁNICA

AGRADECIMIENTOS:

A mi familia, amigos, compañeros y amigos de Iroko, Noah Klou, Philipe Atrah, Boga, Sara Martín, Javier García, David Fernández, Carlos Santiuste y al Departamento de Cooperación Internacional de la Universidad Carlos III. A todos les agradezco la ayuda y el apoyo que me han dado.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Recursos hídricos en el mundo.....	9
1.2. La función de la Universidad en la Cooperación y la importancia de las tecnologías Apropriadadas al desarrollo.....	10
1.3. República de Togo	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo General.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. ANTECEDENTES.....	16
3.1. Estudios previos.....	16
3.1.1. Estudio de la población.....	16
3.1.2. Estudio de las necesidades de consumo doméstico diarias.....	17
3.2. Principales tipos de fuentes	19
3.2.1. Manantiales	19
3.2.2. Arroyos.....	19
3.2.3. Grandes corrientes y ríos.....	19
3.2.4. Legalidad de las fuentes	20
3.3. Cantidad y calidad del agua.....	20
3.3.1. Métodos para medir el caudal.....	20
3.3.1.1. Contenedor y cronómetro.....	20
3.3.1.2. Método de área-velocidad.....	21
3.3.2. Calidad del agua.....	21
3.3.2.1. Análisis Cualitativos y Cuantitativos.....	22
3.3.2.1.1. Análisis cualitativos.....	22
3.3.2.1.2. Análisis cuantitativos.....	22
3.3.2.2. Los diferentes tipos de tratamientos.....	25

3.3.2.2.1 La sedimentación.....	25
3.3.2.2.2. Coagulación y floculación.....	25
3.3.2.2.3. Rejas de desbaste.....	25
3.3.2.2.4. Filtro de grava.....	25
3.3.2.2.5. Aireación.....	27
3.3.2.2.6. Filtro lento de arena.....	27
3.3.2.2.7. Cloración.....	31
3.3.2.3. Desinfección de tanques y tuberías.....	32
3.3.2.3.1. Desinfección de tanques.....	32
3.3.2.3.2. Nuevas tuberías y conductos maestros.....	33
3.4. Captación.....	33
3.4.1. Determinación del nivel del río.....	34
3.4.2. Estudio de las condiciones del lecho del río y dimensionamiento de las obras de estabilización.....	34
3.4.3. Dispositivos de mantenimiento de nivel.....	35
3.4.4. Canal de derivación.....	35
3.5. Estudio topográfico.....	35
3.5.1 Reconocimiento del terreno mediante el GPS.....	36
3.5.1.2. Funcionamiento del GPS.....	36
3.5.1.3. Funciones de un receptor GPS.....	36
3.6. Tipos de sistemas de abastecimiento de agua.....	37
3.6.1. Sistemas abiertos.....	36
3.6.2. Sistemas cerrados.....	37
3.6.3. Sistema cerrado con depósito de reserva.....	37
3.7. Teoría hidráulica.....	38
3.7.1. Hidrostática.....	39

3.7.1.1. Carga hidrostática.....	40
3.7.2. Hidrodinámica.....	40
3.7.3. Línea Piezométrica.....	41
3.7.4. Ecuación de continuidad y teorema de Bernoulli.....	42
3.7.4.1 Ecuación de continuidad.....	42
3.7.4.2 Teorema de Bernoulli.....	42
3.7.4.3. Ecuación de Bernoulli para el caso real.....	43
3.7.5. Pérdidas de carga.....	44
3.7.5.1. Pérdidas de Cargas continuas.....	47
3.7.5.2. Pérdidas locales.....	45
3.7.6. Carga residual.....	46
3.7.7.1. Límites de presión.....	47
3.7.7.2. Límite de presión mínima.....	47
3.7.7.3 Límite de velocidades.....	47
3.7.8. Software de distribuciones de agua.....	48
3.7.9. Bloqueos de aire.....	49
3.7.10. Golpe de ariete.....	50
3.7.10.1.Consecuencias.....	51
3.7.10.2. Dispositivos para controlar el golpe de ariete.....	51
3.7.10.3. Cálculos de comprobación del golpe de ariete.....	52
3.8. La bomba centrífuga.....	52
3.8.1. Dimensionamiento de bombas para la extracción de agua.....	53
3.8.2. Carga neta positiva de aspiración (NPSH)	57
3.9. Depósito de agua.....	53
3.10 Elementos destacables en un sistema de distribución de agua por gravedad.....	56
3.10.1 Válvulas: elementos de fricción variables.....	56
3.10.2. Vías alternativas	57
3.10.3. Desagües de limpieza.....	58

3.10.4. Tanques de rompe-presión.....	58
3.10.5. Cajas de valvulas	60
4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO.....	61
4.1 Estudio Socioeconómico de la región	61
4.2. Reconocimiento de las instalaciones del pueblo.....	63
4.3. Descripción de la población y características físicas de la zona.....	64
4.3.1. Situación geográfica.....	64
4.3.2. Condiciones geológicas.....	65
4.3.3. Condiciones climáticas.....	66
4.3.4. Alternativas y descripción de la propuesta seleccionada.....	66
4.3.4.1. Alternativa 1: Perforación de pozo.....	67
4.3.4.2. Alternativa 2 : El río Tonón	67
4.4. Descripción general del sistema propuesto.....	68
4.4.1. Captación.....	68
4.4.2. Tratamiento físico.....	68
4.4.3. Equipo de bombeo.....	68
4.4.4. Caseta de bombeo.....	69
4.4.5. Línea de impulsión.....	69
4.4.6. Depósito de distribución.....	69
4.4.7. Desinfección y ajuste de PH.....	69
4.4.8. Red de distribución.....	69
4.4.9. Fuentes comunales.....	70
5. BASES DE CÁLCULO Y DISEÑO.....	71
5.1. Periodo y población de diseño.....	71
5.1.1. Consumo doméstico.....	71
5.1.2. Análisis del recurso hídrico de la zona.....	71
5.1.3. Dotación y cálculo de caudales.....	72
5.2. Partes del Proyecto a ejecutar.....	73

5.2.1. Captación.....	73
5.2.1.1. Mantenimiento de la captación.....	74
5.2.2. Tratamientos.....	74
5.2.2.1. Mantenimiento de los filtros.....	77
5.2.3. Impulsión.....	78
5.2.3.1. Cálculos de la motobomba.....	78
5.2.3.2. Análisis de las curvas características.....	80
5.2.5. Conducción.....	84
5.2.5.1. El proceso de la instalación de las tuberías.....	84
5.2.6. Almacenamiento.....	87
5.2.6.1. Tuberías del depósito.....	88
5.2.6.2. Detalles de construcción.....	89
5.2.6.3. Proceso de trabajo.....	91
5.2.6.4. Normas de la limpieza del depósito.....	93
5.2.7. Desinfección.....	94
5.2.7.1. Instalación y requerimientos de instalación.....	94
5.2.7.2. Operación y mantenimiento.....	95
5.2.7.3. Cálculo de la dosis del cloro y del PH.....	96
5.2.8. Distribución.....	97
5.2.8.1. La fuente.....	105
5.2.8.2. El mantenimiento.....	105
6. CRONOGRAMA.....	107
7. GESTIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	109
7.1. Operación y Mantenimiento de las infraestructuras.....	109
7.2. Comité de Agua.....	110
7.2.1. Funciones y obligaciones del Comité de Agua.....	110

8. PRESUPUESTO	112
9. CONCLUSIONES.....	113
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	117
PLANOS.....	132

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Recursos hídricos en el mundo

Para algunos, la crisis del agua supone caminar a diario largas distancias para obtener agua potable suficiente, limpia o no, únicamente para salir adelante. Para otros, implica sufrir una desnutrición evitable o padecer enfermedades causadas por las sequías, las inundaciones o por un sistema de saneamiento inadecuado. También hay quienes la viven como una falta de fondos, instituciones o conocimientos para resolver los problemas locales del uso y distribución del agua.

Muchos países todavía no están en condiciones de alcanzar los *Objetivos de Desarrollo del Milenio* relacionados con el agua, con lo que su seguridad, desarrollo y sostenibilidad medioambiental se ven amenazados. Además, millones de personas mueren cada año a causa de enfermedades transmitidas por el agua que es posible tratar. Mientras que aumentan la contaminación del agua y la destrucción de los ecosistemas, somos testigos de las consecuencias que tienen sobre la población mundial el cambio climático, los desastres naturales, la pobreza, las guerras, la globalización, el crecimiento de la población, la urbanización y las enfermedades, incidiendo todos ellos.

Los datos actuales sobre este servicio confirman que aún queda mucho por hacer:

Más de 2.600 millones de personas en el mundo carecen de saneamiento adecuado, más del 40% de la población mundial. De ellos, 980 millones de niños y niñas carecen de acceso a las instalaciones de agua y saneamiento lo que afecta a todos los aspectos de su vida. La falta de saneamiento adecuado está asociado a la muerte de casi dos millones de niños y niñas cada año.

El 88% de las muertes producidas en el mundo por diarreas, segunda causa de mortalidad infantil en el mundo, están relacionadas directamente con un déficit en el abastecimiento de agua y el saneamiento.

El coste económico que suponen las mejoras en saneamiento es reducido en comparación con los beneficios que conlleva su disponibilidad efectiva. Se calcula que con una inversión anual de unos siete mil millones de euros (menos del 1% de los gastos militares mundiales en 2005) se reduciría a la mitad para 2015 el número de personas que no dispone de sistemas de saneamiento. Por cada euro invertido en saneamiento y abastecimiento, se pueden ahorrar hasta 8 euros en costos de salud y otros servicios básicos.

La meta 10 del objetivo 7 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio establece reducir a la mitad para 2015 la proporción de personas sin acceso al agua potable y a saneamiento básico que existía en 1990, lo cual se relaciona con todos los *Objetivos de Desarrollo del Milenio*, en especial con los que se refieren a la reducción de la pobreza, la mortalidad infantil, el medio ambiente, la educación y la igualdad de género.

El incumplimiento de esta meta afecta de manera especial a las mujeres y a las niñas porque la falta de letrinas las obliga a hacer sus necesidades en zonas inseguras, o les impide asistir a la escuela porque no hay instalaciones sanitarias adecuadas, lo cual afecta a su educación, dignidad y autoestima.

1.2. La función de la Universidad en la Cooperación y la importancia de las tecnologías apropiadas al desarrollo

La Cooperación Internacional debe ser entendida como un conjunto de relaciones entre países que persiguen un beneficio mutuo. La Cooperación al Desarrollo es una parte de la Cooperación Internacional que, con similar propósito, se establece entre países con distinto nivel de desarrollo, con unos fines concretos (consolidación democrática, desarrollo económico y social sostenible, lucha contra la pobreza, protección del medio ambiente, entre otros) y todo ello planteado en términos de corresponsabilidad entre las contrapartes. En ese sentido no debe confundirse con la ayuda humanitaria y consecuentemente, debe exigir un esfuerzo de las contrapartes, aunque no puede ser el mismo en todos los países. De esta forma, el criterio básico para el reparto del esfuerzo sería tender a una participación equilibrada, tanto en recursos personales como financieros, acorde con la situación real de cada parte.

Cuestiones esenciales en los procesos de desarrollo humano son, obviamente, la salud, la cultura, el reconocimiento del papel desempeñado por la mujer, el respeto al conocimiento local, el uso sostenido de los recursos, la protección del medio ambiente, pero también la mejora de los sistemas de ciencia y tecnología, de educación y formación.

La importancia de los **sistemas universitarios** en los procesos de desarrollo socioeconómico, ligado al avance científico y tecnológico de los países, viene ampliamente demostrada por la experiencia vivida en las últimas cinco décadas y por su papel en el proceso de globalización. La cooperación universitaria al desarrollo se entiende como la cooperación de las Universidades en los procesos de desarrollo socioeconómico. Esta cooperación o colaboración se considera en su sentido más amplio:

- La cooperación bilateral o multilateral exclusivamente entre instituciones universitarias, para compartir experiencias y recursos que se trasladen a los procesos de desarrollo en que cada Universidad se encuentre comprometida.
- La cooperación bilateral o multilateral entre Universidades y otros agentes públicos y privados, para inducir, fomentar y apoyar estrategias de desarrollo.
- La función desempeñada por las Universidades y la experiencia que ofrecen en los procesos de desarrollo presenta una notable diversidad, que se explica por la evolución experimentada en cada país a lo largo de los últimos cuarenta años. Algunos elementos en los que se manifiesta dicha diversidad son:
 - La función social de la Universidad, expresada como su capacidad para dar respuesta a las demandas sociales.
 - La Universidad como actor socioeconómico.
 - El papel de los sectores público y privado (con especial referencia a las empresas y a las ONGD) y sus implicaciones con el sistema universitario.
 - La naturaleza de las relaciones entre la Universidad y la Empresa.
 - El papel de árbitro o interlocutor de las Universidades en situaciones complejas o de conflictos de intereses profundos.

Las Universidades españolas constituyen un importante factor estratégico para una eficaz cooperación al desarrollo. El sistema universitario español ofrece una corta pero interesante experiencia en este ámbito. Diversas universidades españolas como la Universidad Carlos III, la Universidad de Alcalá, la Universitat Oberta de Catalunya.... vienen aplicando metodologías válidas que merecen ser mejor conocidas y potenciadas. Por eso, sus fortalezas y potencialidades justifican sobradamente una profundización y extensión de las acciones desempeñadas hasta el momento, para aprovechar el potencial que tiene el sistema universitario español al servicio de unos objetivos que definen positivamente el mundo en que vivimos.

Sin embargo, el papel de las Universidades españolas como agentes de cooperación internacional al desarrollo no aparece suficientemente claro y dimensionado en el vigente ordenamiento jurídico español ni, concretamente, en su representatividad en los órganos de decisión correspondientes.

Por todo ello; el sistema universitario español -representado en la CRUE Conferencia de Rectores de Universidades Españolas - considera que es necesario manifestar a la sociedad y a los poderes públicos su compromiso y disposición a incrementar su dedicación a esta importante

tarea diseñando una Estrategia de Cooperación Universitaria al Desarrollo, en la que se plantean unos objetivos realistas y compatibles con las tendencias actuales de cooperación para el desarrollo sostenible.

Con la Estrategia de Cooperación Universitaria al Desarrollo se pretende proponer al sistema de cooperación oficial y no gubernamental posibles vías de colaboración e implicar a las Universidades más activamente en este importante reto de nuestro tiempo.

La elección de **tecnología** es una de las elecciones más decisivas a las que se enfrenta cualquier país, grande o pequeño, rico o pobre. Es una elección con una influencia generalizada. Determina lo que se produce, cómo y dónde es producido, dónde vive la gente, quién trabaja y la calidad de la vida laboral; qué recursos se usan, y qué sistemas de apoyo, tales como finanzas, educación, transporte, se requieren; y dependiendo de su impacto medioambiental, determina si el sistema económico que ha conformado es sostenible o no.

Debido a que los medios convencionales de medir el crecimiento económico ignoran su impacto medioambiental, hay en la actualidad un gran abismo entre las interpretaciones económicas y medioambientales de lo que está sucediendo en el mundo. La comunidad empresarial considera que el mundo está en una razonable buena forma: y es axiomático que cuanto mayor es el crecimiento económico, medido por el producto interior bruto (PIB), mejor. En contraste, del lado medioambiental, cada uno de los principales indicadores manejados muestra un deterioro: los bosques se reducen, el desierto se extiende, las buenas tierras para cultivos desaparecen, las especies animales y vegetales disminuyen, la contaminación de agua y aire se acelera.

Usamos el término “**Tecnologías apropiadas**” para indicar que, en términos de coste por puesto de trabajo, la tecnología más conveniente para un país pobre debía estar en algún lugar entre el coste prácticamente nulo de una primitiva herramienta de mano y los 20.000 euros de una cosechadora. Así, si un país en desarrollo insistía en las tecnologías que necesitaban 20.000 euros por nuevo puesto de trabajo, obviamente (estando escasos de capital), serían capaces de crear relativamente pocos nuevos puestos de trabajo. Pero con una tecnología que costase, digamos, 500 libras, podrían crear 40 veces más nuevos empleos. Las tecnologías apropiadas deben de estar comprometidas en la tarea de crear y descubrir tecnologías de bajo coste: herramientas y equipamientos que puedan estar bajo control y ser propiedad de los pobres de ambientes, rurales, urbanos en países en vías de desarrollo, y con los que pudieran trabajar ellos mismos a pesar de su pobreza.

El propósito es demostrar que tecnologías apropiadas a las necesidades y recursos de los pobres rurales podían ser desarrolladas e introducidas, y así, ayudando a crear una red internacional de organizaciones animadas por los mismos propósitos, cambiar el énfasis conjunto de ayuda y desarrollo hacia la tecnología de pequeña escala realmente capaz de llevar la industria a las áreas rurales o menos desarrolladas.

1.3. República de Togo

Desde que Togo se independizó en 1960, ha sido un país de tránsito y de intercambios que ha gozado de una relativa estabilidad político institucional. A comienzos de los años 90 entra en una profunda crisis sociopolítica y económica en un entorno de fluctuación desfavorable de precios de los productos básicos.

Los disturbios políticos en mayo de 2005, generados por una difícil transición política tras la muerte de un presidente que había estado en el poder 38 años y que había dejado a su hijo como sucesor, ilustran los problemas que viven muchos países de la región al intentar librarse de regímenes autocráticos. Para evitar las represalias y la muerte, 40.000 togoleses tuvieron que refugiarse en Ghana y Benín. Ahora se vive una situación de relativa calma. Sin embargo, los problemas de gobernabilidad continúan en un país donde la sociedad civil apenas tiene voz y la violación de los derechos humanos está a la orden del día. La ocupación tradicional es la agricultura cerealista para el autoconsumo. Los excedentes tienden cada vez más a destinarse a la comercialización. El cultivo del maíz se ha desarrollado a partir de los años 80 y se ha convertido en el cultivo prioritario teniendo en cuenta su rendimiento por hectárea. Para las familias es prioritario poder garantizar la alimentación ya que la agricultura depende totalmente de las precipitaciones anuales, por eso los precios de los productos están sujetos a las fluctuaciones estacionales. El 34% de la población vive en una situación de pobreza ya que los ingresos que recibe no le permiten procurarse el mínimo de calorías necesarias para el crecimiento normal. Los hombres obtienen los ingresos de la venta de cereales o del cultivo del algodón; las mujeres de la venta de madera local, alimentos cocinados y del pequeño comercio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

El objeto de este proyecto es procurar el abastecimiento de agua apta para el consumo humano a la comunidad de Apéyémé y Todomé que cuenta con una población actual de 8.000 habitantes. Al cubrir una necesidad básica como el acceso al agua potable, conseguiremos que las personas enfermen con una frecuencia mucho menor y puedan desarrollar sus actividades de trabajo con más normalidad, no tengan la necesidad de comprar medicamentos y puedan invertir ese dinero en su nutrición, en su trabajo, o en la formación. Con esta acción pretendemos que mejore la calidad de vida de la comunidad y contribuyamos a su desarrollo.

Garantizando el suministro de Agua potable a las personas de la población de Apéyémé y Todomé se busca los siguientes objetivos:

- Disminuir las tasas de mortalidad por enfermedades de origen hídrico.
- Provocar un impacto sanitario favorable en la población infantil, más vulnerable a las enfermedades.
- Provocar un impacto de género favorable en la población femenina e infantil al reducirle su carga de trabajo.
- Disminuir la tasa de desocupación.

2.2 Objetivos específicos

Dotación de agua potable

Descripción

- Garantizar el acceso al agua potable a la comunidad Apéyémé y Todomé durante todo el año.

Indicadores Objetivamente Verificables

- Al cabo de un año, el suministro de agua se mantiene en todo el sistema.
- Al cabo de un año, la calidad del agua se mantiene dentro de los márgenes de aptitud para el consumo humano.

- Todos los grifos están funcionando correctamente al cabo de un año.
- Las tareas de mantenimiento se efectúan adecuadamente.
- Cada familia aporta los fondos necesarios al funcionamiento del sistema.

Fuentes de Verificación

- Estadísticas de uso elaboradas sobre el terreno por los propios técnicos que trabajen en el sistema de abastecimiento.
- Registros de incidencias elaborados por el *Comité de Aguas*.
- Análisis de agua realizados por laboratorios especializados.

Hábitos y salud

Descripción

- Mejorar los hábitos de consumo de agua y de salud integral por parte de la comunidad.

Indicadores Objetivamente Verificables

- El 100% del origen del agua de consumo doméstico en las comunidades es agua o bien de lluvia, por lo que no tiene minerales, o bien es tomada del río directamente por lo que tiene una gran cantidad de parásitos.
- Al cabo de un año la incidencia de enfermedades relacionadas con la calidad del agua en la comunidad ha disminuido un 20%.

Fuentes de Verificación

- Informes de las evaluaciones realizadas en el hospital de la población de Danyí.

3. ANTECEDENTES

En este apartado se describen todos los conceptos teóricos y herramientas que se han utilizado para realizar.

3.1. Estudios previos

La primera fase de la creación de un sistema de abastecimiento de agua es la evaluación de la comunidad en la que se pretende instalar dicho sistema. Se debe realizar un reconocimiento en el que se reflejen datos objetivos, como:

- Densidad de la población local
- Materiales disponibles en la zona de trabajo
- Disponibilidad de la mano de obra cualificada
- La capacidad de los medios de transporte

Por otro lado, también son necesarios datos más subjetivos, como pueden ser:

- Personas más influyentes en la comunidad.
- Reacciones y actitudes de los habitantes hacia el proyecto.
- Que las personas locales sean conscientes de los trabajos que se van a desarrollar y que tienen que contribuir con su esfuerzo personal.
- La disposición que tiene la población para entender que el proyecto solo será sostenible con la participación de todos contribuyendo a cuidar y a pagar el mantenimiento de las instalaciones.

Esta información se debe obtener del mayor número de habitantes posible para poder contrastar opiniones. Una vez se haya comprobado que las poblaciones apoyan la instalación del proyecto, se debe proceder a la evaluación técnica y no antes. En conjunto, sólo se deberá proceder con la construcción del sistema si son viables ambos factores: los técnicos y los humanos.

3.1.1. Estudio de la población

Es importante una medida precisa de la población ya que el número de habitantes determinará los requisitos del sistema. La población de un pueblo, a efectos de un sistema de abastecimiento de agua estará formado por toda aquella persona que vaya a depender de dicho

sistema para su consumo de agua diario. Se debe incluir también a personas que, aunque no sean residentes habituales vayan a estar empleando sus recursos de agua. Estas personas, aunque no son los usuarios más habituales, pueden ser desde enfermos en puestos de salud hasta empleados del estado que trabajen en la comunidad. Para mediciones de población se debe intentar obtener los datos más verídicos posibles. Se va explicar el método más utilizado:

- Hacer un listado por escrito de todas las viviendas existentes y los que habitan en ellas ir por la aldea contando las casas individualmente y determinando los habitantes que hay en cada una de ellas para aldeas muy grandes, donde esto no es factible, el procedimiento es:
- En cada punto de servicio, contar las casas que se van a abastecer.
- Hacer reconocimiento personalmente de unas 10 ó 12 de estas viviendas y determinar la media de habitantes que viven en ellas.
- Aplicar esta media para determinar el número de personas a abastecer en este punto de servicio.
- Calcular con estos datos el total de población abastecida por todos los puntos de servicio, evidentemente, las mediciones serán tanto más precisas cuanto mayor sea la muestra analizada.

3.1.2. Estudio de las necesidades de consumo doméstico diarias

En él se analizan las distintas cantidades de agua dentro del consumo doméstico de la misma que se consideran imprescindibles para asegurar la salud pública de sus usuarios. Se delimitan cuáles son los hábitos diarios valorados como fundamentales y se plantean qué cantidades de agua se requieren teniendo en cuenta condiciones tales como los hábitos culturales, el clima de las diferentes zonas a lo largo del año o la edad, el género o peso de los consumidores. El objetivo final es encontrar un volumen genérico de agua que nos sirva de referencia a la hora de tener un patrón de cálculo, que nos permita estimar cuál es la demanda real para el abastecimiento de agua en poblaciones rurales. Las conclusiones obtenidas por este estudio son las siguientes:

El consumo directo de agua apta para consumo humano diario supone acceder al menos a 5,5 L. llegando así a cubrir las exigencias más extremas. En cuanto a la cantidad de agua necesaria para la preparación de comidas, considerada fundamental, se ha considerado necesarios 2 L. al día. El agua imprescindible para asegurar una higiene adecuada también se ha considerado

indispensable. A partir de estas tres consideraciones y contrastando las cantidades respectivas con los datos facilitados por las Naciones Unidas, el Banco Mundial o la Organización Mundial de la Salud, se valoró como imprescindible asegurar la accesibilidad de al menos 50 L. de agua por persona y día, aunque las cantidades aconsejables se encuentren más entre 75 y 100 L. de agua por persona y día. Esta cantidad de agua está directamente relacionada con la distancia a la fuente. Para un suministro idóneo la fuente de agua no se debe de encontrar a más de cinco minutos de distancia, es fundamental que nunca se encuentre por encima de los 30 minutos, de tal manera que se pueda asegurar al menos los 20 L. de agua al día.

A continuación se incluye una gráfica en la que se representan los resultados comentados.

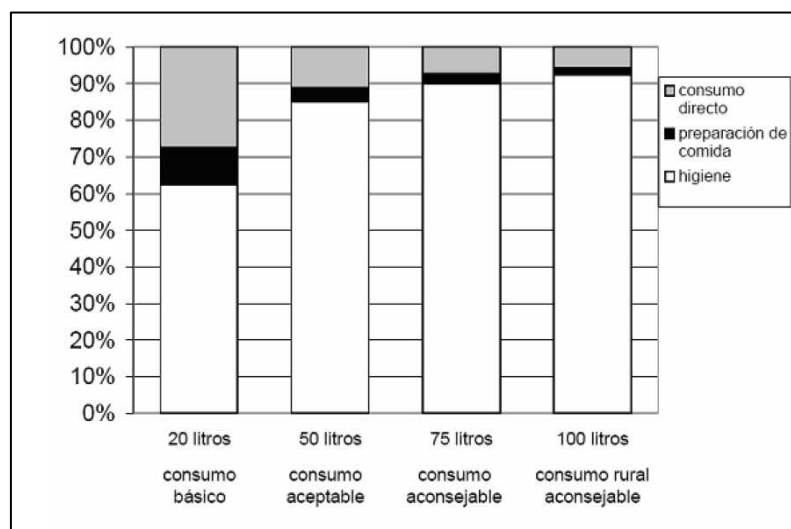


Figura 1. Necesidades diarias de agua por persona.

Así pues, para nuestro trabajo, tomaremos que la cantidad de agua necesaria por persona y día será de **30 L.**

El cálculo que se desarrolla para ver si nuestra fuente de agua será válida para la población en cuestión es el siguiente. Calculamos el número de habitantes de la comunidad y los multiplicamos por 30 L. por persona y día, obteniendo así la cantidad de litros que necesitará la comunidad entera en un día. A continuación, cambiamos las unidades de tiempo y pasamos de días a segundos. Al número de habitantes actuales le incluimos un coeficiente que refleja el crecimiento de población. Dependiendo del tipo de población, este factor de crecimiento variará.

En Togo, para las zonas rurales, se tomarán el 2,41% acumulativo anual. Los sistemas se dimensionan para perdurar durante 20 años lo que implica que el sistema tendrá que ser ampliado para abastecer el aumento de demanda.

Así, nos queda:

$$Q_{\text{necesario}} = N^{\circ} \text{ habitantes} \cdot X_{\text{factorcrecimiento}} \cdot 80(l / \text{persona} \cdot \text{día}) \cdot \left(\frac{1\text{día}}{24\text{horas}}\right) \cdot \left(\frac{1\text{hora}}{60\text{min}}\right) \cdot \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) \quad 18$$

$$Q_{necesario} = \left[\frac{\text{litros}}{\text{segundo}} \right]$$

Una vez que se sabe el caudal que necesita la población, se tiene que verificar que la fuente donde se obtiene el agua tiene que tener más caudal.

$$Q_{\text{fuente}} > Q_{\text{necesario}}$$

3.2. Principales tipos de fuentes

3.2.1. Manantiales

Los manantiales son puntos donde el agua surge a la superficie desde una fuente subterránea. Normalmente suelen tener un flujo de alrededor de 2 L/ sg. aunque pueden ser más abundantes

3.2.2. Arroyos

Son fuentes de agua no tan deseables, especialmente cuando corriente arriba existen poblaciones humanas o zonas de pastoreo de ganado. De todas maneras, en ocasiones las necesidades de la aldea no se pueden satisfacer por otros medios y no queda más remedio que emplearlo. También es una fuente de agua que cambia notablemente con la época del año en la que nos encontremos. Es muy útil preguntar a los aldeanos a cerca de los niveles que llega a alcanzar el riachuelo o arroyo en temporada de lluvias o en temporada seca.

3.2.3. Grandes corrientes y ríos

Son las fuentes menos deseables pues es seguro que van a ser las más contaminadas. La única ventaja es que es la mejor fuente para el empleo de arietes hidráulicos en los casos en los que se deba abastecer a poblaciones que se encuentran a mayor altitud o donde otra fuente de agua es inexistente.

3.2.4. Legalidad de las fuentes

Deben estar claros los derechos de los usuarios a emplear una determinada fuente de agua. Aunque no sea la responsabilidad del ingeniero resolver posibles problemas de este tipo, sí se debe asegurar de que todas las disputas o problemas se han solucionado satisfactoriamente. Si tales problemas no se pueden resolver, se deben contemplar otras posibles fuentes de agua. En el

pasado, se han dado casos en los que algunos proyectos han sido saboteados intencionadamente por miembros de la comunidad que han considerado que no se les estaba considerando justamente. Esto conlleva, evidentemente a una tensión interna en la comunidad y a una pérdida de tiempo y de materiales con el consiguiente costo.

3.3. Cantidad y calidad del agua

Es fundamental medir el flujo de agua que ofrece cada fuente para saber si vamos a tener suficiente agua como para abastecer a la aldea entera. En primer lugar, medimos el caudal de agua y dependiendo del tipo de fuente en la que estemos trabajando, emplearemos un método u otro.

3.3.1. Contenedor y cronómetro

Se toma un contenedor que pueda llenarse fácilmente de agua, con capacidad de 10 a 20 L. como pueda ser un cubo o una tinaja. A continuación, se coloca en el flujo de agua de tal manera que en el instante en que el contenedor se comience a llenar, se ha activado un cronómetro. En el momento en el que el contenedor, de volumen conocido, se haya llenado, paramos el tiempo. Repetimos este procedimiento al menos cinco veces, calculamos la media aritmética, descartamos algún dato que claramente sea atípico y anotamos los resultados. El caudal de agua se expresa como:

$$Q = \frac{v}{t}$$

Q = Caudal [l/s].

v = Volumen del contenedor [l].

t = Tiempo que se tarda en llenarlo [s].

Esta medición se debe realizar en la temporada seca, cuando el flujo es el mínimo de todo el año. De esta manera se diseña por defecto, en el peor de los casos. Si se mide en temporada de lluvias, la cantidad de agua que habría en época seca se puede estimar entre un 50% y un 70% menos, aunque también es algo que convendría preguntar a los aldeanos.

3.3.2. Método de área-velocidad

Es un método que requiere más trabajo que el anterior y es, además, menos preciso. Se utiliza para fuentes de agua especialmente extensas, por ejemplo de un río ancho. Se mide la velocidad de superficie del agua cronometrando el tiempo que tarda un flotador en recorrer una determinada distancia. Dicha distancia debe ser de 6 a 10 veces la profundidad del río y debe carecer de obstáculos. Además, se debe medir la sección del río en el lugar en el que estamos midiendo. Se repetirá la medición al menos 5 veces y se hallará la media, para mayor precisión en la medida. La velocidad del agua en la superficie es la máxima e irá disminuyendo a medida que las capas de agua estén a más profundidad. Teóricamente, la capa de agua más profunda, en contacto con el fondo, tiene velocidad nula. Por esta razón, se añade un coeficiente de corrección del 85% para homogeneizar la velocidad de la corriente. Así que nos queda la siguiente expresión para el flujo:

$$Q = 0,085 \cdot v \cdot A$$

Donde:

Q = Caudal [l/s] o $[m^3/s]$.

v = Velocidad del flotador [m/s].

A = Sección media del río $[m^2]$.

Una vez hayamos calculado el caudal que ofrece la fuente de agua en cuestión, sabremos si tenemos suficiente agua para abastecer a toda la comunidad durante todo el año.

3.3.3. Calidad del agua

Para determinar la calidad del agua se toman muestras de cantidades pequeñas de agua en un medio que a posteriori se puede analizar en un laboratorio. Los laboratorios analizan estas muestras según varios factores, y ven si está dentro de los estándares de la calidad para el agua. Uno de estos factores es el número de colonias de bacterias coliformes; éstas son un indicador para la calidad del agua para beber. Otro factor es la concentración de ciertos contaminantes y de otras sustancias, tales como agentes de la eutrofización.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece unas directrices para la calidad del agua potable que son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable. Las últimas directrices publicadas por la OMS son las acordadas en Génova, 1993.

3.3.3.1. Análisis Cualitativos y Cuantitativos

3.3.3.1.1. Análisis cualitativos

Para determinar la necesidad de tratamiento y la correcta tecnología de tratamiento, los contaminantes específicos en el agua deben ser identificados y medidos. Los contaminantes del agua se pueden dividir en dos grupos: contaminantes disueltos y sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos, tales como limo o arena, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de las características organolépticas del agua que son visibles, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua:

- La materia suspendida en el agua absorbe la luz, haciendo que el agua tenga un aspecto nublado. Esto se llama turbidez. La turbidez se puede medir con diversas técnicas, que demuestren la resistencia a la transmisión de la luz en el agua.
- El sentido del gusto puede detectar concentraciones de algunas décimas a varios centenares de PPM (partes por millón) y el gusto puede indicar que los contaminantes están presentes, pero no puede identificar contaminantes específicos.
- Por el color se puede saber si existen impurezas orgánicas. En algunos casos el color del agua puede ser causado incluso por los iones de metales. El color es medido por la comparación de diversas muestras visualmente o con un espectrómetro (dispositivo que mide la transmisión de luz en una sustancia, para calcular concentraciones de ciertos contaminantes). Que el agua tenga un color inusual normalmente no significa un riesgo para la salud.
- La detección del olor puede ser útil, porque incluso se pueden detectar niveles bajos de contaminantes. Sin embargo, en la mayoría de los países la detección de contaminantes con olor está limitada a determinadas regulaciones, pues puede ser un peligro para la salud cuando algunos contaminantes peligrosos están presentes en una muestra.
- La cantidad total de materia suspendida puede ser medida filtrando las muestras a través de una membrana. La materia suspendida se expresa en PPM ($\text{ppm} = \text{mg/L}$, mg/m^3 o mg/Kg).

La identificación y la cuantificación de contaminantes disueltos se hace por medio de métodos muy específicos en laboratorios, porque éstos son los contaminantes que se asocian a riesgos para la salud.

3.3.3.1.2. Análisis cuantitativos

La calidad del agua también se puede determinar por una serie de análisis cuantitativos en el laboratorio, tales como pH, sólidos totales (ST), la conductividad y la contaminación microbiana.

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado el número de iones de hidrógeno presentes. Se mide en una escala de 0 a 14, en la cual el valor número 7 es neutro, los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica. Cuando una sustancia es neutra el número de los átomos de hidrógeno (H^+) y de oxhidrilos (OH^-) es igual. Cuando el número de átomos de hidrógeno excede el número de átomos del oxhidrilo, la sustancia es ácida. Esta es la escala de PH:

PH	1 2 3 4 5 6	7	8 9 10 11 12 13 14
INDICADOR	ACIDO	NEUTRO	BASICO

Tabla1. El PH con sus indicadores.

El nivel de pH tiene un efecto en muchas fases del proceso de tratamiento de las aguas y afecta a la formación de costras de las fuentes de agua. El nivel de pH se puede determinar con varios métodos de análisis, tales como indicadores del color, pH-papel o pH-metros.

Los sólidos totales (ST) son la suma de todos los sólidos disueltos y suspendidos en el agua. Cuando el agua se analiza para los ST se seca la muestra y el residuo se pesa después. ST pueden ser tanto las sustancias orgánicas como inorgánicas, los microorganismos y partículas más grandes como la arena y arcilla.

La conductividad es la conducción de la energía por los iones. La medida de la conductividad del agua puede proporcionar una visión clara de la concentración de iones en el agua, pues el agua es naturalmente resistente a la conducción de la energía. La conducción se expresa en Siemens y se mide con un conductivímetro.

La contaminación microbiana se divide en la contaminación por los organismos que tienen la capacidad de reproducirse y de multiplicarse y los que no pueden hacerlo. La contaminación

microbiana está provocada por las bacterias, y se expresa en Unidades Formadoras de Colonias (UFC), una medida de la población bacteriana.

Con la tabla siguiente se relaciona los diferentes tratamientos que se pueden dar al agua con el nivel de contaminación que tienen, se va utilizar para definir la clase de tratamiento que se va a aplicar

	Coagulación y Floculación	Sedimentación	Filtración Rápida	Filtración Lenta en Arena	Cloración
Clara y No Contaminada					
Ligeramente Contaminada, baja turbidez					
Ligeramente contaminada, turbidez media					
Ligeramente contaminada, turbidez alta					
Ligeramente contaminada, muchas algas					
Fuertemente contaminada, poca turbidez					
Fuertemente contaminada, muchas turbidez					

Tabla 2. Relaciona el nivel de contaminación con el tratamiento.

A continuación se van describir todos los tratamientos que se pueden aplicar al agua.

3.3.3.2. Los diferentes tipos de tratamientos

3.3.3.2.1 La sedimentación

El tratamiento de aguas potable sigue generalmente al proceso de la coagulación y de la floculación química, que permite agrupar partículas juntas en los flóculos de un tamaño más grande. Esto incrementa la velocidad en que se asientan los sólidos suspendidos en el fondo, facilitando la limpieza y extracción de las partículas en suspensión.

3.3.3.2.2. Coagulación y floculación

Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante.

3.3.3.2.3. Rejas de desbaste

El desbaste se realiza con rejas formadas por barras verticales o inclinadas que interceptan el flujo de la corriente de agua del río en el canal de entrada a la planta de potabilización. Su función es retener y separar los sólidos más voluminosos, para evitar las obstrucciones en los equipos.

Las rejas pueden ser de dos tipos: entre 50 y 150 mm de separación de los barrotes (desbaste grueso) o de entre 10 y 20 mm (desbaste fino) Se opta por diseñar la planta con dos rejas de desbaste una de desbaste grueso y una posterior de desbaste fino.

3.3.3.2.4. Filtro de Grava

Un filtro de grava consiste en dos o más módulos operados en paralelo con un flujo descendente, donde cada unidad es empacada con lechos de grava de granulometrías variables en el rango de gruesa en el fondo a más fina en la superficie. La grava de mayor tamaño origina grandes áreas superficiales dentro del lecho filtrante y por consiguiente valores bajos de carga superficial, favoreciendo el proceso de sedimentación como mecanismo predominante en el filtrado del material sólido.

El lecho filtrante está formado por tres capas de grava con tamaños que varían entre 3 y 25 mm. La capa más fina se coloca en la superficie y la más gruesa sobre el fondo de la unidad, cubriendo el sistema de drenaje. La longitud recomendada para el filtro es de 0.6 m. La capa intermedia y la última funcionan como lecho de soporte.

	Espesor Capa	Tamaño Grava
Capa Superior	0,2	2-5
Intermedio	0,2	5-10
Inferior	0,2	10-25

Tabla 3. Espesor y granulometría de las gravas.

Estructura de entrada y salida

La entrada debe incluir elementos que permitan la disipación de energía, el control, la medición, distribución del flujo y vertimiento de los excesos.

La estructura de salida debe permitir el drenaje del caudal de rebose durante la operación y el vertimiento del agua del lavado durante la limpieza superficial del filtro.

Sistema de Recolección-drenaje

El objetivo es captar el agua tratada lo más uniforme posible, coleccionar el agua de lavado y drenar la unidad cuando se realizan las actividades de mantenimiento.

El sistema de recolección y drenaje consiste en tubería de PVC que forman los colectores laterales y el colector principal, disponiendo de una válvula de apertura rápida en la tubería de recolección y drenaje.

La Velocidad de Filtración debe estar entre 2-3 m/h. por ello se opta por una velocidad de 2,5 para que en caso de que uno de los filtros deba pararse, éste no llegue a exceder 3 m/h. Se recomienda que el área de cada módulo sea $As < 10 \text{ m}^2$. Se propone por tanto la construcción de cinco filtros de grava en paralelo, de 7 m^3 cada uno, diseñando un filtro más de lo necesario para tenerlo de reserva en caso de necesidad. La longitud de la estructura se determina a partir de la ecuación:

$$A = \frac{Qd}{V_f} \quad l = \frac{As}{b}$$

A = Área total del filtro [m^2].

Qd = Caudal de entrada al filtro [m^3/h].

Vf = Velocidad de filtrado [m/h].

L = Longitud de cada modulo que forma el filtro [m].

As = Área de cada módulo [m^2].

b = Ancho de cada módulo [m].

Si uno de los filtros fallara, la velocidad de filtración estaría dentro del rango de las velocidades del filtro de grava.

$$Vf = \frac{Qd}{A}$$

3.3.3.2.5. Aireación

Este proceso consiste en el mezclado del agua con el aire de manera que se consiga su oxigenación. Así el agua, de esta manera, pierde acidez (debida al dióxido de carbono que puede estar disuelto en ella) y reduce sabores y colores no deseados debidos a la presencia de hierro o gases disueltos en el agua. El método más sencillo de aireación consiste en construir una especie de torre con tablas de madera o de plástico en su que sirvan para romper la caída del agua. Con lo cual, al estar mayor superficie de agua en contacto con el aire, ésta absorbe mayor cantidad de oxígeno.

3.3.3.2.6. Filtro Lento de Arena

Un filtro lento de arena es un tanque grande con un drenaje en la parte de abajo, que está cubierto por una capa base de gravilla y, por encima de ésta, una capa mayor de arena de filtrado. El filtro funciona reteniendo el agua mecánicamente cuando ésta pasa a través de la arena y, además, atacando biológicamente las impurezas orgánicas puesto que en las bases arenosas y de gravilla se crea una capa de una especie de limo constituido por bacterias que se alimentan de impurezas orgánicas que se encuentran en el agua. Estos filtros son relativamente fáciles de construir y no requieren de personal muy cualificado para su mantenimiento. Pero el principal problema reside en que el filtro de arena sólo puede procesar entre 0,002 y 0,003 L/s por cada metro cuadrado de superficie de filtrado. Así que se requiere una superficie muy grande para un flujo mínimo de agua. Por otro lado, aunque el mantenimiento sea simple, requiere una atención regular porque si no, en vez de eliminar las bacterias, el filtro puede convertirse en fuente de ellas.

El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondeados, libres de arcilla y materia orgánica. La arena debe lavarse, procedimiento con el que también se eliminan los granos más finos, disminuyendo el coeficiente de uniformidad y elevando el diámetro promedio de los granos de arena.

Experimentalmente se ha encontrado que el diámetro efectivo es del orden de 0,15-0,30 mm. Para las aguas claras con gran contenido bacteriológico se suele recomendar un diámetro efectivo = 0,10 mm, en cambio para las agua muy turbias diámetro efectivo = 0,40 mm.

Coeficiente Uniformidad	< 3
D _{efectivo}	0,15 – 0,30 mm
Profundidad Lecho arena	0,5-0,80 m

Tabla 4. Características de las gravas.

La profundidad del lecho de arena es una función del número de años de operación. Se recomiendan alturas de entre 0,5-0,8 m. En cuanto a los Coeficientes de Uniformidad se recomienda que sean menores de 3 mm para que los poros sean lo bastante regulares siendo lo ideal diseñarlos de entre 2-1,8 mm.

Capa de Soporte:

Constituida por grava graduada con especificaciones similares a las aplicadas al medio filtrante. Debe estar libre de arena, limo y materia orgánica. La función es evitar que se pierda el material a través del drenaje. Para su diseño debe tenerse en cuenta el tamaño de los granos de arena en contacto para definir el tamaño de la grava más fina y las características de los orificios del drenaje.

	Tipo	Diámetros de la partícula	Espesor (mm)
Superior	Arena gruesa	1 – 2	50
Segunda	Gravilla Fina	2 – 5	50
Tercera	Gravilla	5 – 10	50
Inferior	Grava	10 – 25	150

Tabla 5. Espesor y granulometría de las gravas del filtro de arena

Estructura de entrada

Como en el caso del filtro de grava la estructura de entrada del filtro debe permitir controlar el caudal afluente, disipar la energía, distribuir flujo y verter excesos. La entrada del agua al filtro se hace mediante una ventana, desde la cámara de entrada, y la velocidad no debe superar los 0.10 m/s.

Drenaje y Sistema de recolección

El sistema de drenaje de un filtro lento de arena debe cumplir tres funciones:

- Soportar el material filtrante e impedir su arrastre a través del lecho de grava y dispositivos de colección y transporte.
- Asegurar la recolección uniforme del agua filtrada en toda el área de filtración.
- Permitir el llenado ascendente de los FLA y la distribución uniforme del agua de llenado, en el arranque inicial o después del mantenimiento.

El drenaje puede ser de tuberías perforadas, tuberías corrugadas, ladrillo sobre ladrillo, etc...Por economía, facilidad de transporte y buen comportamiento hidráulico y mecánico se usan las tuberías corrugadas de PVC.

Capa de Agua Sobrante

La altura de agua sobrante proporciona la carga hidráulica necesaria para permitir su paso a través del lecho de arena y ser colectada por el sistema de drenaje. El nivel oscila entre 0.60 m y 0.80 m. El valor más alto es el recomendado para afluente con gran variación en su calidad.

Dimensionado

Se deben diseñar un mínimo de dos unidades funcionando en paralelo, el dimensionado de la caja del filtro depende de la forma de operación de la unidad. Se ha de tener en cuenta que el número de unidades va a depender de la velocidad de filtración del resto de unidades cuando una o más estén fuera de funcionamiento por mantenimiento.

Depende también de la forma de operación de la unidad. La operación continua es la más conveniente debido a que se obtienen unidades de filtración más pequeñas. Para ello se ha de disponer de un depósito de regulación al cual se bombee el agua cruda a determinados intervalos, en el caso de que no se asegure el bombeo constante. La velocidad máxima de las unidades en funcionamiento es 0,3 m/s.

La otra opción cuando no se asegura un bombeo constante es la filtración con tasa declinante. Se bombea de la caja de ingreso a los filtros, y el resto del tiempo el filtro sigue operando con la capa sobrenadante, la que al ir decreciendo en altura va produciendo una tasa de filtración menor. Esto implica que durante el tiempo de operación constante el filtro produzca el volumen necesario para 24 horas, por tanto va a aumentar proporcionalmente el área de filtración.

Si el caudal que se quiere potabilizar es elevado, el número unidades de filtración será elevado, por lo que se opta por la construcción de un depósito de regulación que asegure la filtración las 24 horas para disminuir trabajos de mantenimiento y reducir espacio. El área de filtración total va a ser por tanto:

$$A = \frac{Q \times C_1}{V_f}$$

As = Superficie de Cada Unidad.

Q = Caudal

Vf = Velocidad de Filtración.

CI = Número de horas de funcionamiento continuo (turnos).

La velocidad de Filtración depende de los procesos preliminares que se consideren.

Procesos	Vf (m/h)
FLA	0,10-0,20
Sedimentación (S) + FLA	0,15-0,30
Prefiltración (PF)+ FLA	0,15-0,30
S + PF+FLA	0,30-0,50

Tabla 6. Velocidad de filtración en los diferentes espesores.

Se define una $V_f = 0.2$ m/h, porque se dispone de una prefiltración con grava. Se ha de tener en cuenta que el área de una unidad de filtración debe estar entre los 10 y 200 m², y en zonas rurales preferiblemente inferior a 100 m² para facilitar el mantenimiento en un solo día.

$$A = \frac{Q}{Vf}$$

Donde “n” es el número óptimo de módulos rectangulares, puede obtenerse a partir de la expresión:

$$n = 0.5\sqrt[3]{A} \qquad As = \frac{A}{n}$$

3.3.3.2.7. Cloración

La cloración ha desempeñado durante casi un siglo una función crítica al proteger los sistemas de abastecimiento de agua potable de las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua. Se ha reconocido ampliamente la cloración del agua potable como uno de los avances más significativos en la protección de la salud pública. La filtración y la cloración prácticamente han eliminado las enfermedades transmitidas por el agua (como el cólera, la tifoidea, la disentería y la hepatitis A) en los países desarrollados. Los desinfectantes basados en cloro son los únicos con las propiedades residuales duraderas que previenen un nuevo crecimiento microbiano y proporcionan protección continua durante todo el proceso de distribución. El hipoclorito (lejía) puede destruir cultivos puros de bacterias. La exposición al cloro parece causar alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la pared de la célula. Destruyendo así su barrera protectora, con lo que concluyen las funciones vitales y se produce la muerte del microorganismo. Los siguientes factores influyen en la desinfección del agua:

- La naturaleza y número de los organismos a ser destruidos.
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua a ser desinfectada. Cuanta más alta sea la temperatura, más rápida es la desinfección.
- El tiempo de contacto. El efecto de desinfección se vuelve más completo cuando los desinfectantes permanecen más tiempo en contacto con el agua.
- La naturaleza del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas en suspensión, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, el proceso de desinfección es generalmente obstaculizado.
- El pH (acidez/alcalinidad) del agua.
- La mezcla. Una buena mezcla asegura la adecuada dispersión del desinfectante a través de todo el agua y, así, promueve el proceso de desinfección.

Para el tratamiento eficaz del agua, se ha reconocido la necesidad de una exposición adecuada al desinfectante y una dosis suficiente de desinfectante por un determinado período. El valor CT representa la combinación de la dosis de desinfectante y el tiempo que el agua ha estado expuesta a una mínima cantidad de desinfectante residual.

$CT = \text{concentración desinfectante} \times \text{tiempo de contacto} = C \text{ (mg/L)} \times T \text{ (min)}$

C = concentración final de desinfectante en mg/l.

T = tiempo mínimo de exposición en minutos.

Ajuste del pH

El pH del agua de salida es necesario mantenerlo entre los valores guía que cita el reglamento ($6,5 < \text{pH} < 8,5$) para evitar tener un agua agresiva, que pueda producir corrosiones e incrustaciones en la red. Para corregir el pH entre estos valores, utilizamos varios reactivos, que pueden dosificarse de forma líquida (en solución), o en polvo. Dependiendo del pH previo a la corrección, se podrán requerir dos situaciones, aumentar o disminuir el pH, los reactivos más usados son:

Aumento de pH: Hidróxido sódico o cálcico, carbonato sódico.

Reducción de pH: Ácidos sulfúricos o clorhídrico, anhídrido carbónico.

Como vemos, existen muy variadas posibilidades para definir una instalación de ajuste de pH, dependiendo del reactivo que usemos, y del estado en el que se quiera dosificar, dispondremos de una instalación distinta.

3.3.3.3. Desinfección de tanques y tuberías

3.3.3.3.1. Desinfección de tanques

Todos los tanques nuevos y depósitos deben ser desinfectados antes de ponerlos en servicio. De igual manera, los tanques que han estado fuera de servicio por reparación o limpieza también deben ser desinfectados antes de que se les vuelva a poner en servicio. Antes de la desinfección se debe limpiar las paredes y los fondos mediante barrido y restregado para quitar toda la suciedad y material suelto.

Uno de los métodos de desinfección usados para un tanque nuevo es llenarlo hasta el nivel de derrame con agua limpia a la cual se agrega cloro suficiente para producir una concentración de 50 mg/L. Se introduce en el agua la solución de cloro lo más pronto posible durante la

operación de llenado con el fin de asegurar una mezcla y contacto completos con todas las superficies a ser desinfectadas. Se mantiene lleno preferiblemente durante 24 horas pero no por menos de 6 horas después se drena el agua y se rellena el tanque para el abastecimiento regular.

Un segundo método, que es bastante satisfactorio y práctico en las condiciones rurales es la aplicación directa de una solución fuerte (200 mg/l) a las superficies internas del tanque. La superficie debe permanecer en contacto con la solución fuerte por al menos durante 30 minutos antes de llenar el tanque con agua.

Un tercer método, que se debe usar sólo cuando no se puede usar otros, no expone las superficies superiores de las paredes a una solución fuerte de cloro. Se alimenta agua al tanque con un contenido de cloro de 50 mg/L, a un volumen tal que posteriormente, cuando se llene completamente el tanque, la concentración resultante de cloro sea de aproximadamente 2 mg/L. Se conserva el agua que contiene 50 mg/l de cloro en el tanque por 24 horas antes de llenar completamente el tanque. Entonces se puede poner en servicio el tanque sin extraer el agua usada para la desinfección siempre que el residuo final no sea demasiado elevado.

3.3.3.3.2. Nuevas tuberías y conductos maestros

Es probable que los conductos maestros de distribución y las tuberías se contaminen durante su colocación aún si se toma en consideración las precauciones necesarias. Por lo tanto, se les debe desinfectar antes de ponerlas en uso. Los sistemas de distribución necesitan ser desinfectados cuando se contaminan en el caso de roturas de la tubería maestra o de inundaciones. Se debe limpiar toda tubería mediante escobillado y flujo a presión con el fin de retirar toda materia extraña. Un medio práctico de aplicar la solución de cloro para la desinfección de sistemas rurales de abastecimiento de agua consiste en lavar con flujo cada sección a ser desinfectada. Se cierra la válvula de entrada y se deja secar la sección que se va a desinfectar. Seguidamente se cierra el grifo de descarga o válvula y se aísla la sección del resto del sistema. Se alimenta la solución desinfectante a través de un embudo o una manguera hacia un grifo o una abertura hecha especialmente para ese propósito en la parte más elevada de la tubería. Como las válvulas de purga de aire por lo general están colocadas en estos puntos altos, a menudo el retirar una válvula de purga es una forma conveniente de proveer un punto de entrada. Se introduce la solución lentamente hasta que la sección esté completamente llena, poniendo cuidado en asegurar que pueda escapar el aire atrapado en la tubería. Si no existen válvulas de purga de aire ni otros orificios, se debe desconectar una o dos conexiones de servicio para permitir la salida del aire.

3.4- Captación

Consiste en simples tomas acopladas a un canal de derivación. Se utilizarán en ríos en los cuales los mínimos de estiaje aportan el tirante de agua necesario para derivar el caudal requerido. Deberán preverse rejas, tamices y compuertas para evitar el ingreso de sólidos flotantes. Son recomendables en zonas de muy baja pendiente (véase figura 2). El canal de derivación se construirá sobre tramo rectilíneo o en tramo de transición entre curvas del curso superficial para el nivel mínimo de aguas.

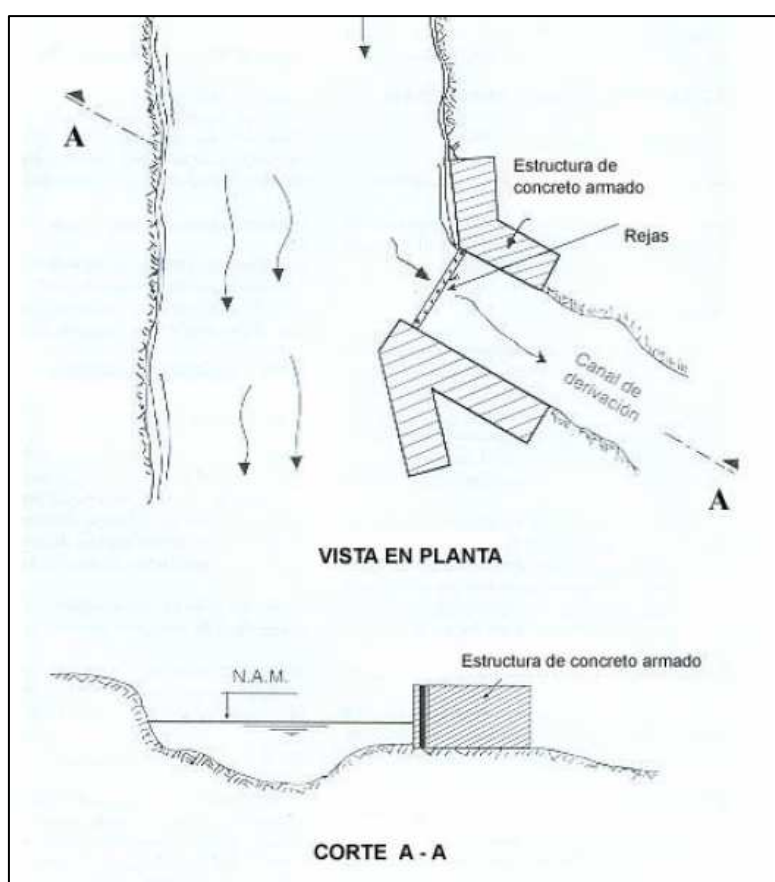


Figura 2. Plano de una captación.

3.4.1. Determinación del nivel del río

Para un sistema por gravedad se debe considerar el caudal máximo diario para la población de diseño. Deberá obtenerse los niveles máximos y mínimos anuales en estaciones hidrológicas cercanas; en el caso de falta de datos hidrológicos se debe investigar niveles en periodos de avenidas y estiaje, apoyándose en información de personas conocedoras de la región.

3.4.2. Estudio de las condiciones del lecho del río y dimensionamiento de las obras de estabilización

Deben ser verificadas las condiciones de la sección del curso de agua en cuanto a la necesidad de su estabilización, en especial en los casos en que se presentan con bajas pendientes o se encuentren sujetas a un régimen muy variable de flujos. Las obras de protección de la sección del curso de agua deben ser proyectadas teniendo en cuenta los flujos máximos y dimensionadas teniendo en cuenta las condiciones hidráulicas aguas arriba y aguas abajo del trecho a ser estabilizado.

3.4.3. Dispositivos de mantenimiento de nivel

Son obras ejecutadas en un río o en curso superficial estrecho, ocupando toda su anchura, con la finalidad de elevar el nivel de agua en la zona de captación y asegurar el sumergimiento permanente de la toma de agua.

Se pueden emplear presas, vertederos o colocar piedras en el lecho del río, constituyendo lo que se denomina enrocamiento. No se deben construir en ríos profundos con gran superficie de agua.

Elemento estructural de las obras de toma lateral, mediante el cual se reparte el caudal deseado a los demás componentes de la captación y el caudal sobrante es retornado al río a través de un aliviadero. También se diseño el aliviadero para las crecidas del río.

3.4.4. Canal de derivación

El canal de derivación se construirá para conducir al agua desde la bocatoma hasta una cámara colectora, desarenador o planta de tratamiento. Los canales deberán ser construidos cuidando que la velocidad no ocasione erosión ni sedimentación de material. En los canales revestidos la velocidad deberá ser menor a 0,6 m/s para evitar la sedimentación de sólidos suspendidos. Para el cálculo hidráulico de canales se empleará la ecuación de continuidad:

$$Q = v \cdot A$$

Q = Caudal [l/s] o [m³/s].

v = Velocidad del flotador [m/s].

A = Sección media del río [m²].

3.5. Estudio topográfico

En esta sección se pretende presentar los diferentes métodos para llevar a cabo un estudio topográfico a lo largo de una ruta propuesta para el paso de las tuberías del sistema de abastecimiento de agua. Se plantean el reconocimiento del terreno por medio de un teodolito, de un altímetro barométrico, de un nivel de Abney y de un GPS, siendo éste último en el que más profundizaremos al ser el más simple y más extendido en este tipo de construcciones de sistemas de abastecimiento de agua por gravedad.

3.5.1 Reconocimiento del terreno mediante el GPS

El GPS o sistema de posicionamiento Global, Global Positioning System, es un sofisticado sistema de orientación y navegación cuyo funcionamiento está basado en la recepción y procesamiento de las informaciones emitidas por una constelación de 24 satélites conocida como NAVSTAR, orbitando en diferentes alturas a unos 20.000 km. por encima de la superficie terrestre.

3.5.1.2 Funcionamiento del GPS

Los satélites transmiten continuamente su situación orbital y la hora exacta. El tiempo transcurrido entre la emisión de los satélites y la recepción de la señal por parte del receptor GPS, se convierte en distancia mediante una simple fórmula aritmética (el tiempo es medido en nano segundos).

Al captar las señales de un mínimo de tres satélites, por triangulación el receptor GPS determina la posición que ocupa sobre la superficie de la tierra mediante el valor de las coordenadas de longitud y latitud (dos dimensiones). Dichas coordenadas pueden venir expresadas en grados, minutos y/o segundos o en las unidades de medición utilizadas en otros sistemas geodésicos. La captación de cuatro o mas satélites facilita, además, la altura del receptor con respecto al nivel del mar (tres dimensiones). Las coordenadas de posición y otras informaciones que puede facilitar el receptor se actualizan cada segundo o cada dos segundos.

3.5.1.3. Funciones de un receptor GPS

La función principal de un GPS es informar sobre la posición que ocupa por medio de las coordenadas de longitud y latitud de manera que dicha posición pueda situarse con facilidad en un mapa o plano Pero hay otras funciones para facilitar la navegación:

Posición: Indicar la posición del GPS Facilita la localización casi exacta del receptor. Para ello el GPS tiene que haber captado las señales emitidas al menos por tres satélites.

Altura: al captar 4 o más satélites el GPS indica la altura sobre el nivel del mar (sensible a Disponibilidad Selectiva)

Tiempo: el GPS una vez inicializado, aunque no reciba señales satelitales indica la hora y fecha, si recibe señales indica la hora exacta.

Punto de paso o punto de referencia: El waypoint es la posición de un único lugar sobre la superficie de la tierra expresada por sus coordenadas. Un waypoint puede ser un punto de inicio, de destino o un punto de paso intermedio en una ruta. Todos los GPS pueden almacenar en memoria varios Waypoints, los cuales se pueden borrar, editar, e identificar mediante caracteres alfa numérico.

Distancia: introduciendo las coordenadas de dos puntos, la función distancia del GPS informa la separación de ambos y el rumbo en grados que hay que seguir desde el marcado como inicio al de destino. Lo mismo puede realizarse con dos waypoints. Se puede medir en (km, millas y millas marinas).

Navegación: Introduciendo un waypoint como destino y otro como origen el GPS es una brújula exacta no afectada por campos magnéticos o metales de los vehículos.



Figura 3. Modelo del GPS utilizado

3.6 Tipos de sistemas de abastecimiento de agua

Ya tenemos realizado el estudio de población, el de las fuentes y el topográfico. Ahora, en este apartado, vamos a plantear una clasificación general de los distintos tipos de sistemas de abastecimiento de agua por gravedad que podemos construir. La primera gran clasificación que podremos hacer será diferenciando sistemas abiertos de sistemas cerrados.

3.6.1. Sistemas abiertos

Los puntos de servicio de agua pueden permanecer abiertos todo el tiempo y se suministrará aún así un flujo constante de agua a todos estos puntos de servicio. Es decir, que el caudal que se tiene es suficiente como para abastecer a todos los puntos de servicio constantemente, sin necesidad de un tanque de distribución o depósitos de reserva.

3.6.2. Sistemas cerrados

En ellos, el caudal de agua disponible no es suficiente para abastecer simultáneamente todos los puntos de servicio o plantea carencias en las horas punta de consumo, con lo que se hace necesario el uso de un tanque de distribución. Todos los puntos de servicio del sistema deben contar con un sistema de cierre, como puede ser un grifo.

Partiendo de estas dos categorías se pueden construir cinco tipos de sistemas.

- Sistema abierto sin grifos de cierre.
- Sistema abierto con grifos de cierre.
- Sistema cerrado con servicio intermitente.
- Sistema cerrado con válvulas de flotador.
- Sistema cerrado con depósito de reserva.

3.6.3. Sistema cerrado con depósito de reserva

En el proyecto que se va a ejecutar se va a utilizar este sistema. El depósito de reserva es necesario cuando la demanda punta de agua en la aldea no se puede cubrir únicamente con la fuente. El depósito de reserva acumula agua en momentos de bajo consumo, como por ejemplo por la noche y cubre con esa agua las demandas más exigentes, como por la mañana temprano. El depósito permite la obtención de agua en cualquier momento del día pero requiere la instalación de grifería y el buen mantenimiento de la instalación.

3.7. Teoría hidráulica

Antes de proceder al dimensionado y la construcción del sistema, vamos a plasmar los fundamentos teóricos vigentes en un sistema de distribución y abastecimiento de agua por gravedad.

Para imprimir movimiento al agua es necesario aplicarle una determinada energía. En un sistema de abastecimiento de agua por gravedad la fuente de dicha energía es, como su propio nombre apunta, la ejercida por el campo gravitatorio terrestre. La cantidad de dicha energía que posee el sistema está determinada por las elevaciones relativas entre todos los puntos del sistema. Una vez se haya construido, todos los puntos del sistema estarán fijados y no podrán moverse, con lo que las alturas relativas no variarán. Consecuentemente para cualquier sistema existe una cantidad fija específica de energía gravitatoria disponible para poder mover el agua, así pues, se buscará el diseño ideal del trazado de tuberías para poder transportar el agua a determinados flujos deseados a partir del manejo preciso de esta energía contemplando, por un lado, conservarla y, por otro, disiparla por medio de las pérdidas ocasionadas por fricción. Esto se hará seleccionando el tamaño y tipo de tubería, el emplazamiento estratégico de válvulas de control, tanques rompe-presión, tanques de distribución, etc.

3.7.1 Hidrostática

La hidrostática es la parte de la Hidráulica que estudia los líquidos en reposo. En este apartado, sólo se destaca el caso en el que el agua está en reposo en una tubería que pertenece a un sistema de abastecimiento de agua. En dicho caso, el sistema está en equilibrio estático y las presiones que se miden son iguales en cualquier punto. Es decir, que si en cualquier punto del sistema insertamos un tubo piezométrico, la columna de agua que ascendería por dicho tubo se elevaría hasta justamente la línea de carga estática del sistema, o lo que es lo mismo, hasta el nivel más alto del sistema, por ejemplo, el de la superficie libre de un depósito. A continuación, se incluye una representación gráfica de lo planteado.

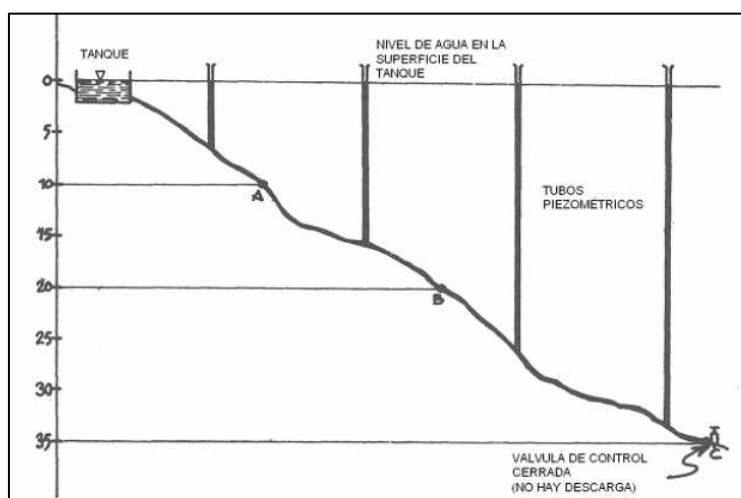


Figura 4. Equilibrio estático

Puesto que no hay pérdidas de energía, la línea hidrostática se mantiene perfectamente horizontal.

3.7.1.1. Carga hidrostática

En hidráulica, por comodidad, las unidades que se suelen emplear para medir presiones, en vez de bares ($1 \text{ bar} \approx 1 \text{ kg/cm}^2$) son las equivalentes a la altura en metros de la columna de agua de superficie 1 cm^2 que ejercería dicha presión. Según la fórmula $P = P_{\text{referencia}} + \rho g h$, si igualamos 1 kg/cm^2 a $\rho g h$, con $\rho = 1000 \text{ kg/cm}^3$ y $g = 10 \text{ m/s}^3$, despejando la h deducimos que 1 kg/cm^2 es igual a 10 metros de presión (10 mca ó metros de columna de agua). Un caso en el que también se emplea mucho esta equivalencia es en la medición de presiones barométricas, con los milímetros de mercurio.

3.7.2. Hidrodinámica

Supongamos ahora que, en el caso anterior, se abre parcialmente la válvula de control, permitiendo que circule un pequeño caudal de agua (suponiendo que el tanque se rellena a la misma velocidad a la que va perdiendo el agua, de tal manera que el nivel de la superficie permanezca constante). Lo que se observará es que el nivel de las columnas de agua que hay dentro de los tubos piezométricos instalados a lo largo de la tubería va a decrecer un poco. A medida que la válvula de agua se abre poco a poco para permitir que circule un mayor caudal, los niveles de dichas columnas decrecerán aún más, como se puede apreciar en la siguiente figura.

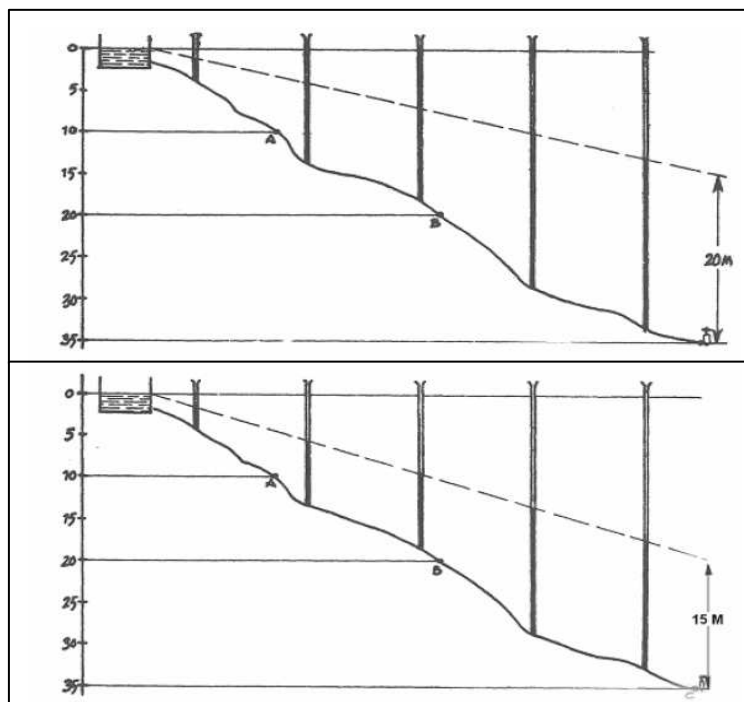


Figura 5. Equilibrio dinámico.

Se observa que las alturas de las columnas en los tubos forman una nueva línea (línea discontinua en la figura 5) con cada uno de los caudales que circulan por el sistema. Para un flujo constante la línea formada por las distintas alturas permanecerá invariante. Esta condición se denomina de equilibrio dinámico. La línea formada por los niveles de las distintas columnas se denomina línea piezométrica o de gradiente hidráulico. Para cada flujo determinado existe una línea piezométrica correspondiente.

3.7.3 Línea Piezométrica

La línea piezométrica es una indicación de la energía presente en cada punto de la tubería. La distancia vertical desde la tubería a la línea piezométrica es la medida de carga hidrostática y la diferencia entre la línea piezométrica y el nivel estático representa la carga hidrostática que se ha perdido por fricciones. Puesto que la presión del agua en los interfaces agua / aire es la atmosférica (considerada como referencia cero), cada vez que nos encontremos en un punto con estas características, la línea piezométrica deberá descender hasta el cero también.

Una línea piezométrica se podría conseguir en la realidad colocando tubitos derivados verticalmente en los puntos que se desee de la tubería (tubos piezométricos). Si se hiciera un pequeño orificio, el agua ascendería hasta alcanzar el nivel necesario y suficiente para equilibrar la presión que hay en cada punto de la tubería en donde se colocó el tubo piezométrico. Uniendo los puntos que ha alcanzado el agua en cada tubo piezométrico nos dará la línea piezométrica.

Debido a que la energía que se pierde por fricción no se recupera, la línea piezométrica siempre tendrá un sentido descendente en el sentido que sigue el agua. La pendiente de la línea piezométrica determina el ritmo al que se pierde carga hidrostática. En el caso ideal de que no hubiese pérdidas, la pendiente sería nula, es decir, la línea piezométrica sería una línea horizontal, aunque por razones prácticas la línea piezométrica se puede trazar como una línea horizontal en el caso de flujos muy reducidos en tuberías de diámetro grande (cuando la pérdida de carga estática es menor que 0,5 metros cada 100m de tubería).

Para el trazado de la línea piezométrica, se calculan las pérdidas de carga entre un punto y otro del sistema y se traza una recta que una las distintas cargas hidráulicas entre ellas. Se suele calcular la línea piezométrica para dos casos: para cuando todos los puntos de servicio (ej. grifos) están abiertos y para cuando todos están cerrados. De esta manera sabremos cuáles son los puntos de máxima y mínima presión, para poder asegurar que estarán dentro de los límites permitidos.

3.7.4. Ecuación de continuidad y teorema de Bernoulli

En este apartado exponemos la ecuación de continuidad y el teorema de Bernoulli aplicados a sistemas de abastecimiento de agua por gravedad puesto que ambos son clave para el entendimiento del funcionamiento y naturaleza de dichos sistemas.

3.7.4.1 Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad constituye la expresión analítica del principio de la conservación de masa, es decir, en el movimiento de un fluido su masa no sufre variación. Sean 1 y 2 dos secciones transversales de un tubo de corriente de áreas S_1 y S_2 .

En el interior de este tubo consideramos las líneas de corriente cuyas secciones transversales tienen por áreas S_1 y S_2 . En la sección 1 la velocidad normal a la sección transversal elemental S_1 es v_1 y, análogamente, para S_2 será v_2 . El caudal máximo entrante por la sección S_1 tiene que ser igual al saliente por la sección S_2 , pues de lo contrario se produciría una variación de la masa fluida en el interior del elemento de corriente, lo cual es imposible en un movimiento permanente de un fluido incompresible, pues la densidad ρ es constante. Por lo tanto:

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = Q$$

Donde v_1 y v_2 son las velocidades medias de las secciones 1 y 2 respectivamente. La aplicación directa de la Ecuación de Continuidad es determinar los caudales mínimos y máximos deseados para cada diámetro de tubería. La velocidad máxima de flujo deseado se toma como 3 m/s y la mínima 0,7 m/s. Puesto que se conocen los diámetros de las tuberías y de ahí las secciones transversales, se podrá deducir cuál es el caudal necesario.

3.7.4.2 Teorema de Bernoulli

En los sistemas de distribución de agua por gravedad se puede simplificar diciendo que la energía está presente de cuatro formas diferentes: como energía potencial, presión, velocidad y fricción. La Ecuación de Bernoulli es simplemente una ecuación de energía que relaciona entre sí cada uno de estas formas de energía presentes en un fluido sometido a un campo gravitatorio.

3.7.4.3. Ecuación de Bernoulli para el caso real

Así pues, en el caso real, la diferencia está en que sí se contemplan las pérdidas de energía que sufre el sistema. Es decir, que la energía ya no se va a conservar puesto que parte de ella se pierde por fricción y turbulencia del agua. La Ecuación de Bernoulli queda de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \cdot V_1^2 + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} V_2^2 + gz_2 + \Delta H = cte$$

Siendo ΔH el término que refleja las pérdidas de energía del punto 1 al punto 2. El término incluye las pérdidas de energía por fricción del agua con la tubería, las pérdidas de carga debidas al paso del agua por válvulas, codos, tes, etc. y las pérdidas ocasionadas por las turbulencias internas de las moléculas de agua unas contra otras.

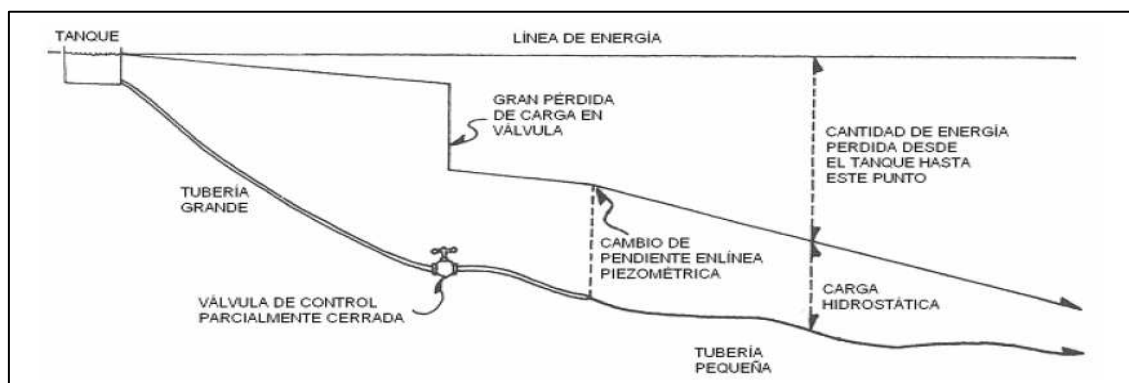


Figura 6. Grafico de la ecuación de continuidad

De nuevo, además de las simplificaciones contempladas para el caso anterior, para un sistema de distribución de agua por gravedad con pérdidas existe esta otra simplificación: las pérdidas de carga debido al paso del agua por singularidades en un tramo de tubería de más de 1000 diámetros de largo son despreciables. La energía correspondiente a la velocidad sigue siendo muy pequeña en comparación con las otras pero ahora la línea piezométrica se separa de la LNE debido a las pérdidas de carga por fricción. La nueva línea piezométrica tendría un aspecto más parecido al que se representa en el siguiente perfil hidráulico:

3.7.5. Pérdidas de carga

3.7.5.1. Pérdidas de Cargas continuas

Para calcular las pérdidas de carga debidas al rozamiento continuo, resulta imprescindible definir previamente el tipo de flujo que se produce en la tubería en las condiciones del problema que tratamos de resolver. Para clasificar acertadamente el tipo de flujo que se origina al transportar el agua por una tubería a presión hay que determinar previamente los parámetros adimensionales número de Reynolds, Re , y la rugosidad relativa de la tubería (k/D). Aunque las fórmulas logarítmicas tienen mayor precisión que las empíricas (como por ejemplo las de Colebrook o Karman-Prandtl), en algunas de éstas los valores del coeficiente de rugosidad son mejor conocidos por la experiencia que los valores de la rugosidad absoluta equivalente, lo que permite resolver con suficiente aproximación los problemas relativos a las pérdidas de carga debidas al rozamiento continuo en las tuberías que transportan agua a presión. Las fórmulas empíricas deben aplicarse siempre en las condiciones de flujo y dentro de la gama de valores avalados por la experiencia. Las fórmulas empíricas de **Darcy** corresponden a la siguiente expresión general:

$$J = \beta \frac{Q^n}{D^m}$$

J = Coeficiente de Darcy [m/m].

Q = Caudal [m³/s].

D = Diametro [m].

β = Coeficiente del material con que esté construida la tubería

La fórmula monómica aportada por **Hazen-Williams**, correspondiente a un *régimen turbulento de transición*. Se expresa como:

$$J = \frac{10,62 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

El coeficiente C depende del material de la tubería tomando los siguientes valores:

Plásticos	C=140
Amianto cemento	C=135
Hormigón armado	C=130
Acero nuevo	C=120
Acero usado	C=110
Fundición nueva	C=100
Fundición usada	C=90

Tabla 7. Coeficientes C de los diferentes materiales.

Con la fórmula empírica de Darcy-Weisbach obtendremos valores de pérdidas de carga mayores a las reales, especialmente cuanto mayor sea la velocidad (o el caudal) del fluido. Es decir, que se obtienen resultados sobredimensionados. Puesto que no hay gran diferencia entre procedimientos, se empleará la experimental de Darcy- Weisbach, puesto que resulta más rápido de calcular.

3.7.5.2 Pérdidas locales

Elementos como codos, tes, válvulas, etc. actúan como puntos concentrados de pérdidas por fricción. Las pérdidas que ocasiona dependen de su forma y del caudal que circule por ellos. Estas pérdidas de carga se calculan obteniendo la longitud equivalente de tubería que ocasionaría las mismas pérdidas. A continuación, se incluyen relaciones L/D (longitud/diámetro) de distintos elementos, que es como se suele trabajar normalmente:

Por ejemplo, el equivalente de tubería de un codo de 90° de hierro galvanizado de 1-1/2" es:

Elemento	L/D
Te (salida bilateral)	68
Te (paso directo)	27
Reducción gradual	06
Ampliación gradual	12
Válvula de compuerta abierta	8
Válvula de globo abierta	350
Salida de tubería	35
Codo 90° (radio corto)	33
Entrada Normal	17
Entrada mallada	150
Codo 90° (radio corto)	45
Curva de 90°	30
Codo de 45°	20
Curva de 45°	15
Unión	7

Tabla 8. Pérdidas de carga en las partes de una tubería.

Ejemplo:

$$1-1/2'' \times 33 = 50'' = 126\text{cm} = 1,26 \text{ metros de tubería de HG de } 1-1/2''$$

3.7.6. Carga residual

Es la cantidad de energía que permanece en el sistema después de que el caudal deseado haya llegado al punto de descarga. Representa la energía gravitatoria que sobra. Si se instala una válvula de control en el punto de descarga, se disipará dicha carga residual. Aunque reduzca el flujo de agua, probablemente conlleve a características más deseables de presión en el sistema.

Carga residual negativa:

Indica que no hay suficiente energía gravitatoria para desplazar la cantidad de agua deseada, así que dicha cantidad de agua no fluirá. La línea piezométrica se debe recalcular empleando un caudal más pequeño y/o tuberías de mayor tamaño.

Carga residual positiva:

Indica que existe un exceso de energía gravitatoria en el sistema. El sistema podría incluso desplazar una cantidad de agua mayor a la establecida. Si se permite que descargue libremente, la carga residual positiva hará que el caudal que circula por las tuberías tienda a aumentar. A medida que el caudal incrementa, las pérdidas de carga por fricción disminuirán la carga residual en el punto de descarga. El flujo aumentará hasta que la carga residual sea reducida a cero.

Flujo natural:

Cuando la carga residual es cero en una tubería que descarga libremente a la atmósfera, significa que el máximo caudal de agua se está desplazando por dicha tubería. Esto es el flujo natural de la tubería, el caudal máximo de agua que puede desplazarse por acción de la gravedad. El flujo natural se puede controlar por medio de un dimensionado selectivo de las tuberías.

Si el flujo natural de una tubería supera el caudal que se obtiene de la fuente de agua, la tubería descarga más rápido de lo que se llena, con lo que nunca irá totalmente llena de agua. En este caso, la línea piezométrica irá sobre la superficie del agua, en el interior de la tubería. Si no hay puntos de servicio en el camino, no hay mayores consecuencias. Sin embargo, en presencia de un punto de servicio, como un grifo, es muy importante que la tubería circule totalmente llena de agua, para asegurar el buen funcionamiento de la grifería.

Las tuberías que no puedan ir llenas del todo con agua deberán incluir una válvula de control en los puntos de descarga. que se ajusta hasta que se alcanza el caudal deseado. En la práctica, las válvulas de control se ajustan cuando todos los puntos de descarga están abiertos. Así, los usuarios no tienen que estar constantemente reajustando las válvulas de control cada vez que se abre o se cierra un grifo.

3.7.7. Límites de presión y de velocidad

3.7.7.1. Límites de presión

Todas las tuberías serán capaces de resistir una presión de trabajo determinada. Las diferentes presiones máximas que puedan aguantar las tuberías vienen definidas por el timbraje, que es el espesor de las paredes. El timbraje se selecciona de acuerdo con las condiciones de trabajo a la que está sometida la instalación.

La tubería de HG (hierro galvanizado) aguanta una presión máxima de hasta 25 atm, se emplea en los lugares donde la presión dentro de la tubería excede los 175 metros o donde enterrar la tubería resulta imposible por las condiciones del terreno.

Las tuberías de PVC tienen varios tipos de timbrajes diferentes, de 4 atm, 6 atm, 10 atm y 16 atm, para presiones mayores de 16 atmósferas se utiliza Hierro galvanizado.

Todas las tuberías mencionadas tienen un factor de seguridad incluido que permite que la presión sobrepase la cantidad indicada por unos pocos metros sin problemas, pero sólo si es absolutamente necesario. Estas tuberías tienen una vida de aproximadamente 50 años en el caso de que se estén empleando correctamente según las indicaciones del fabricante. En los perfiles hidráulicos con forma de “u”, donde primero se baja y acto seguido se sube, se puede llegar a tener presiones muy elevadas, con lo cual, en estas situaciones, muchas veces se combinan los tres tipos de tubería.

3.7.7.2 Límite de presión mínima

Como norma general, se debe evitar diseñar sistemas en los que la línea piezométrica descienda a menos de 10 metros del suelo. Por supuesto, se evitará que la línea piezométrica vaya bajo tierra en ningún momento. Si esto sucediese, lo que tenemos es una “presión negativa” no deseable para nuestro sistema. Lo que significa esto es que el agua está siendo succionada desde abajo y no empujada desde arriba. Esta succión puede aspirar agua contaminada e introducirla en el sistema desde el exterior a través de uniones o pequeñas fugas que no estén totalmente cerradas o selladas. Además, este tipo de presiones pueden extraer el aire disuelto en el agua creando bolsas de aire en los puntos altos del sistema.

3.7.7.3 Límite de velocidades

Si la velocidad del fluido que circula por una tubería es excesivamente elevada, las partículas en suspensión que se encuentren en el agua pueden ocasionar desgastes excesivos por erosión en el interior de la tubería. Y si la velocidad del agua es demasiado baja, estas partículas en suspensión pueden llegar a sedimentar en puntos bajos del tramo de tubería, obstruyendo el conducto con el tiempo si no es atendido. Las velocidades recomendadas son:

Máxima: 3,0 m/s.

Mínima: 0,4 m/s.

Las tablas incluidas en el apéndice 2 indican con un asterisco los caudales pequeños y no dan factores de pérdida de carga para caudales mayores que los recomendados.

Cuando una tubería transporta un caudal pequeño de agua, se debe contemplar posibles problemas de sedimentación. Así que se debería construir un tanque de sedimentación en la captación y crear puntos de limpieza en lugares bajos del sistema para poder eliminar toda la materia sedimentada.

3.7.8. Software de distribuciones de agua

Se ha utilizado el programa EPANET para realizar la simulación hidráulica del proceso que consiste en un simulador dinámico en período extendido para redes hidráulicas a presión compuesto por:

- Un módulo de análisis hidráulico que permite simular el comportamiento dinámico de la red bajo determinadas leyes de operación. Admite tuberías (tres opciones para el cálculo de las pérdidas), bombas de velocidad fija y variable, válvulas de estrangulación, reductoras, sostenedoras, controladoras de caudal, rotura de carga, depósitos de nivel fijo o variables, leyes de control temporales o por consignas de presión o nivel, curvas de modulación, etc.

- Un módulo para el seguimiento de la calidad del agua a través de la red. Que admite contaminantes reactivos y no reactivos, cálculo de concentraciones, procedencias y tiempos de permanencia. Se ha dibujado toda la red nuevamente y se ha ido dando las características propias de cada tramo.

Los elementos utilizados en el EPANET son los siguientes:

Nodo.

- Puede tener asociado un emisor, es decir una demanda. Se le puede asociar diferentes tipos de demanda.
- Se les asigna una cota.

Depósitos.

- Se le considera un nodo con una capacidad de almacenamiento.
- Se le asigna una cota de solera, que es diámetro del suelo del depósito.
- A cada comunidad se le ha asignado un depósito de distribución, dimensionándolo con el Consumo medio diario a futuro.

Tuberías.

- Se le asigna un nodo inicial y final.
- Se le asigna un diámetro, longitud, y coeficiente de rugosidad (para calcular las pérdidas de cargas)
- Estado (abiertas o cerradas).

Válvulas.

- Se les asigna un nodo aguas arriba y aguas abajo.
- Se les asigna el diámetro, la consigna y su estado.
- EPANET permite tener válvulas reductoras de presión, sostenedoras de presión, de rotura de la carga, limitadoras de caudal, regulación y de propósito general. (Como se ha comentado anteriormente EPANET permite realizar la simulación en régimen permanente y en régimen no permanente, asignando una curva de modulación del consumo).

3.7.9. Bloqueos de aire

Un bloqueo de aire se produce cuando una burbuja de aire suficientemente grande queda atrapada en la tubería de tal manera que llega a interferir en el paso del agua. Cuando un sistema de distribución de agua está vacío, bien porque se acaba de construir, bien por labores de mantenimiento y se hace pasar agua de nuevo por él, el aire que había dentro que no puede escapar queda atrapada. A medida que la presión aumenta, las bolsas de aire creadas se van

comprimiendo, reduciéndose así su volumen. En el proceso, parte de la presión hidrostática del sistema es absorbida, con lo que queda menos energía disponible para mover el agua. Si se emplea demasiada energía en comprimir el aire, no llegará caudal al punto de descarga a no ser que se trate el problema de los bloqueos de aire.

Por lo general, no habrá problema en el caso de que el tanque de distribución se encuentre a una cota por debajo de la zona de bloqueo de aire, con tal de que el bloqueo de aire se encuentre al menos 10 metros por debajo de la línea de carga estática. El análisis de bloqueos de aire se debería hacer en las zonas con perfiles en “u”. La metodología a seguir para reducir el efecto de posibles bloqueos de aire es el siguiente:

- Elegir los diámetros de las tuberías que minimicen las pérdidas de carga entre la fuente y el primer bloqueo de aire.
- Emplear diámetros mayores en la parte de arriba y menores en la de debajo de las secciones donde el aire vaya a estar atrapado, como entre justo después del final de un perfil en “u” y la siguiente subida.
- Los bloqueos de aire que se encuentran en cotas más altas, que están más cercanos al nivel estático, son los más críticos y, consecuentemente, los que primero han de ser minimizados o eliminados.

3.7.10. Golpe de ariete

El golpe de ariete es el fenómeno que se origina debido a que el agua es ligeramente elástica (aunque en diversas situaciones se puede considerar como un fluido no compresible). En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de agua que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad algo menor que la velocidad del sonido en el agua. La sobrepresión genera tiene dos efectos: comprime ligeramente el agua, reduciendo su volumen, y dilata ligeramente la tubería. Cuando toda el agua que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El agua se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el agua puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja mientras que la tubería se contrae. Al alcanzar el otro

extremo de la tubería, si la onda no se ve disipada, por ejemplo, en un depósito a presión atmosférica, se reflejará siendo mitigada progresivamente por la propia resistencia a la compresión del agua y a la dilatación de la tubería, siendo entonces es muy factible que pase.

3.7.10.1. Consecuencias

Este fenómeno es muy peligroso, ya que la sobrepresión generada puede llegar a entre 60 y 100 veces la presión normal de la tubería, ocasionando roturas en los accesorios instalados en los extremos (grifos, válvulas, etc).

La fuerza del golpe de ariete es directamente proporcional a la longitud del conducto, ya que las ondas de sobrepresión se cargarán de más energía, e inversamente proporcional al tiempo durante el cual se cierra la llave: cuanto menos dura el cierre, más fuerte será el golpe.

El golpe de ariete estropea el sistema de abastecimiento de agua, a veces hace reventar tuberías de hierro colado, ensancha las de plomo, arranca codos instalados, etc.

3.7.10.2. Dispositivos para controlar el golpe de ariete

Para evitar este efecto, existen diversos sistemas:

- Para evitar los golpes de ariete causados por el cierre de válvulas, hay que estrangular gradualmente la corriente de agua, es decir, cortándola con lentitud utilizando para ello, por ejemplo, válvulas de rosca. Cuanto más larga es la tubería, tanto más deberá durar el cierre.
- Otro método es la colocación de ventosas de aireación, preferiblemente trifuncionales (1ª función: introducir aire cuando en la tubería se extraiga el agua, para evitar que se generen vacíos; 2ª función: extracción de grandes bolsas de aire que se generen, para evitar que una columna de aire empujada por el agua acabe reventando codos o, como es más habitual en las crestas de las redes donde acostumbran a acumularse las bolsas de aire; 3ª función: extracción de pequeñas bolsas de aire, debido a que el sistema de las mismas ventosas por lado tienen un sistema que permite la extracción de grandes cantidades y otra vía para las pequeñas bolsas que se puedan alojar en la misma ventosa).

3.7.10.3. Cálculos de comprobación del golpe de ariete

Para el cálculo de golpe de ariete se utiliza el teorema de Bernoulli, para obtener la presión, comparando la relación del tiempo de parada de la bomba con el tiempo que tarda la onda en llegar a la bomba.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} \cdot V_1^2 + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} V_2^2 + gz_2 + \Delta H = cte$$

Tiempo de parada de la bomba.

$$Tp = 1 + Kb \frac{L \cdot V}{g \cdot Hm}$$

Tiempo que tarda la onda en llegar.

$$\tau = \frac{2 \cdot L}{C}$$

3.8. La bomba centrífuga

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia el tubo de salida o hacia el siguiente rodete (siguiente etapa).

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Por tanto, la carga o energía de la bomba se debe expresar en pies o en metros y es por eso por lo que se denomina genéricamente como "altura".

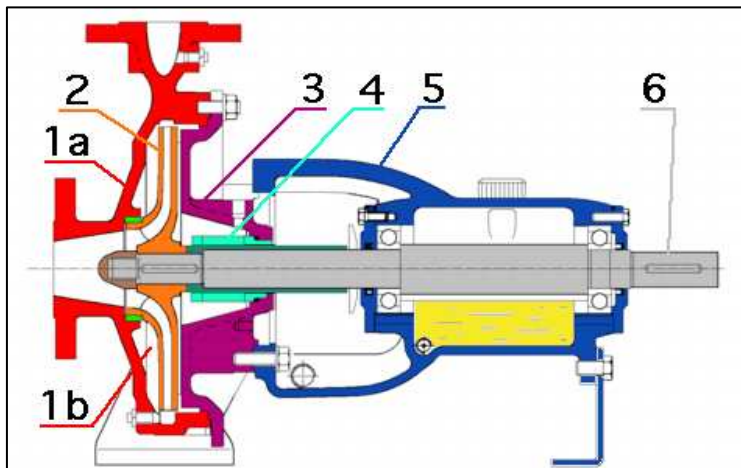


Figura 7. Corte esquemático de una bomba centrífuga

1a - carcasa.

1b - cuerpo de bomba.

2 - rodete.

3 - tapa de impulsión.

4 - cierre del eje.

5 - soporte de cojinetes.

6 - eje.

3.8.1 Dimensionamiento de bombas para la extracción de agua

El dimensionamiento de equipos para la extracción de agua se realiza después de definir los parámetros de la perforación que se van a utilizar, el caudal de producción o caudal que se pretende usar, el nivel estático y el nivel dinámico para el caudal deseado. Otro factor necesario es la ejecución de un pequeño proyecto de instalación donde deben determinarse los datos referentes a la distancia del pozo de extracción al tanque de agua, el desnivel (altura manométrica) los diámetros de aspiración y elevación, la longitud de los tramos de cañerías y la definición de las conexiones necesarias (llaves, curvas, válvulas, etc). Esas informaciones permiten el cálculo de la altura manométrica total que, conjuntamente con el valor de caudal deseado del proyecto, determinará el modelo de bomba a emplear, mediante la consulta al catálogo del fabricante, que informa también la curva de rendimiento de la bomba y la potencia del motor exigida para el caso específico.

A continuación voy a definir los parámetros que he utilizado en el desarrollo del cálculo de la bomba:

$$Q = (L/s) \text{ ---- Caudal.}$$

D (m) ----- Diámetro exterior.

Material ----- PVC.

Tim (atm) ---- Timbraje.

J (m/m) ----- pérdidas por rugosidad de PVC.

L (m) ----- distancia desde la bomba hasta el depósito.

PdC ----- pérdidas de caudal.

Hg (m) ----- diferencia de altura.

Ht (m) ----- diferencia de altura con las pérdidas

Pot (w) ----- Potencia de la bomba en Watios.

S (m) ----- Sección.

Q_2 (m³/sg) --- Caudal.

V (m/sg) ----- Velocidad.

Q_3 (m³/h) ----- Caudal.

Pérdidas de carga.

$$PdC = 1,3 \cdot J \cdot L$$

Altura total de altitud.

$$Ht = Hg + PdC$$

Potencia

$$Pot = Q_1 \cdot 9,81 \cdot H_t$$

Comprobación de la presión que aguanta el timbraje.

$$Comprobación = Tim - \frac{Ht}{10}$$

Sección

$$S = \frac{\Pi \cdot D^2}{4}$$

Velocidad

$$V = \frac{Q_1}{S}$$

En el proyecto vamos a utilizar una motobomba ya que puede desempeñar la misma función que un generador y es más económico. Esta compuesta por dos partes: la 1º es un motor que funciona como un generador proporciona energía al conjunto (ésta energía puede ser eléctrica "electrobomba", en este caso deja de ser transportable ya que no en todos los sitios hay conexión a la red eléctrica y la "motobomba" que suele ser de gasolina las mas económicas y diesel las mas recomendables). La 2º parte es la bomba, que emplea la energía que le es administrada para tener aguas desde su boca de absorción e impulsarlas mediante un disco de mariposa a cierta presión por la boca de salida a una cota superior.

De estos aparatos sólo habremos de mirar en su compra tres cosas:

- La primera y más importante si es para aguas limpias o sucias.
- La segunda es el caudal que necesitamos que bombee (estará especificado dado en litro por hora).
- La tercera es qué tipo de combustible queremos utilizar, si se va a utilizar mucho mejor que sea diesel y si por el contrario se va a utilizar poco, mejor de gasolina.

3.8.2 Carga neta positiva de aspiración (NPSH)

Un parámetro que requiere especial atención en el diseño de bombas es la denominada **carga neta positiva de aspiración**, la cual es la diferencia entre la presión existente a la entrada de la bomba y la presión de vapor del líquido que se bombea. Esta diferencia es la necesaria para evitar la cavitación. La cavitación produce la vaporización súbita del líquido dentro de la bomba, reduce la capacidad de la misma y puede dañar sus partes internas. En el diseño de bombas destacan dos valores de NPSH, el **NPSH_{disponible}** y el **NPSH_{requerido}**. El NPSH requerido es función del rodete, su valor, determinado experimentalmente, es proporcionado por el fabricante de la bomba. El NPSH requerido corresponde a la carga mínima que necesita la bomba para mantener un funcionamiento estable. Se basa en una elevación de referencia, generalmente considerada como el eje del rodete. El NPSH disponible es función del sistema de aspiración de la bomba, se calcula en metros de agua, mediante la siguiente fórmula:

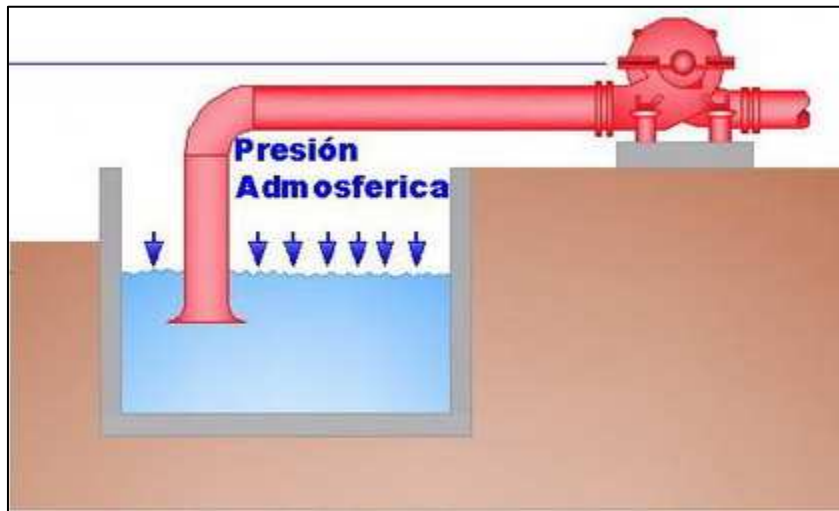


Figura 8. Esquema de la aspiración de la bomba.

$$NPSHd = S - (Ps + Pvp) - (Hpl + Hp)$$

S = Presión atmosférica (m.c.a).

Ps = Pérdidas de carga (m).

Pvp = La tensión de vapor es aquella presión a la cual el líquido bombeado empieza a evaporarse (m.c.a).

Hpl = Pérdidas locales.

Hp = Pérdidas de carga continuas.

3.9 Depósito de agua

La construcción de dicho tanque será el esfuerzo más visible de todo el proyecto. Requiere el esfuerzo combinado de mucha gente, desde albañiles que colocan la piedra y sus ayudantes que mezclan el cemento hasta incluso mujeres y niños ocasionalmente que recolectan piedras de los campos o arena de los ríos. Cuando se completa, el tanque de distribución se convierte en una especie de monumento público de la aldea y una fuente de orgullo de la comunidad, especialmente si el proyecto ha resultado ser exitoso.

En cuanto a las dimensiones del tanque, la capacidad de almacenamiento se basa principalmente en las necesidades de agua de la aldea y en el caudal aportado por la fuente de la que se capta el agua. La idea es que se pueda cubrir la necesidad de agua de la aldea en horario de máxima demanda gracias al agua que se ha ido almacenando en horario de demanda más baja. Por ejemplo, durante la noche, el agua se va acumulando en el tanque de tal manera que a la

mañana siguiente, cuando la demanda es máxima, la necesidad quede cubierta. Así pues, el tamaño máximo del tanque no debería ser mayor que la necesidad de almacenar el agua captada de la fuente durante la noche.

La localización exacta estará sujeta a varios factores. El más importante es la cota para que podamos hacer el sistema por gravedad, el depósito debe de estar en una altura suficiente para que llegue el agua a todas las fuentes. La calidad del suelo es un factor muy relevante ya que en función de las características que tengan, la estructura de la cimentación será una u otra.

A la hora de construir el depósito de distribución tenemos que tener en cuenta que sea accesible para limpiarlo de una forma regular. Tiene que tener respiraderos pero situados de tal forma que no entre agua de lluvia.

También contará con un rebosadero para asegurar que el agua de su interior no entra en carga. El rebosadero deberá verter, a través de una tubería, suficientemente lejos de la base del depósito para evitar así el posible descalce del mismo.

Se construirá una caja de válvulas junto al depósito desde donde se podrá controlar la entrada de agua desde el depósito de cota inferior y la salida de agua hacia las dos zonas de la comunidad. Así pues existirán tres tuberías conectadas al depósito (entrada de agua, salida de agua hacia la zona baja, y salida de agua hacia la zona alta).

Es fundamental asegurar que el agua del depósito no circule en dirección hacia el depósito de cota inferior puesto que es probable que en algún momento éste último quede vacío, de forma que no asegure la presión suficiente que impida ese retroceso. La base interior del depósito poseerá una ligera pendiente que asegure la concentración en una zona baja de todos aquellos elementos que puedan depositarse en el fondo. En ese lugar se colocará un punto de desguace, que deberá estar convenientemente protegido, para facilitar el vaciado del depósito en caso de ser necesario. Se prevé la colocación de algún árbol alrededor del depósito, para minimizar así el impacto visual de su construcción y permitir además que el depósito no se vea expuesto de forma directa y continuada a la acción del sol que acabaría recalentando el agua de su interior.

3.10 Elementos destacables en un sistema de distribución de agua por gravedad

3.10.1 Válvulas: elementos de fricción variables

Una de las maneras de controlar cantidades excesivas de energía es instalar válvulas de control en lugares estratégicos a lo largo del sistema. Una válvula es un elemento que puede ser ajustado para conseguir mayores pérdidas por fricción a medida que el agua circula por ella. Existen dos tipos de válvulas de control: las válvulas de compuerta y las de globo.

Válvulas de compuerta.

Se emplean para cortar por completo el paso del agua. Normalmente se colocan a la salida de captaciones de agua, de depósitos de reserva, de cajas rompe-presión estratégicos, etc. No se recomiendan para regular el flujo de agua porque esto supondría a la válvula estar parcialmente abierta o cerrada y el agua erosionaría la parte de debajo de la compuerta ocasionando fugas en el momento en el que se quisiese cerrar la válvula por completo. La dirección del agua a través de la válvula no tiene importancia.

Válvulas de globo.

Estas válvulas sí se emplean para regular el flujo de agua a través del sistema. El mejor lugar donde instalarlas es en puntos de descarga para que sea más fácil medir el caudal de agua a través de la válvula. Los puntos de descarga son generalmente en depósitos de reserva, en tanques de rompedor y en puntos de servicio. La dirección del flujo de agua sí es importante: hay una flecha en la válvula que indica cuál es la dirección apropiada que el agua debe seguir. Hay que asegurarse de que se instala correctamente.

Válvulas de purga.

Los aparatos de purga de aire se situarán por lo tanto en los puntos altos y en los cambios de pendiente donde realizarán: En la siguiente figura se incluye el esquema de donde se pondrían las válvulas de purga.

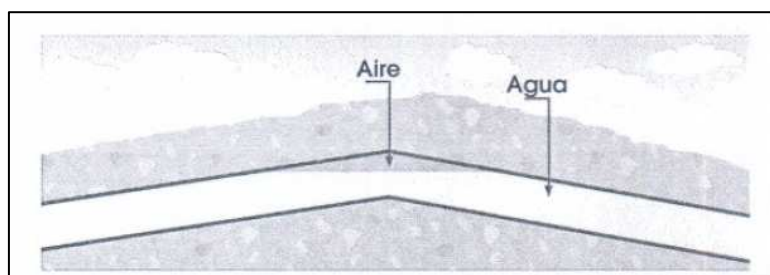


Figura 9. Localización de válvula de purga.

3.10.2. Vías alternativas

En ocasiones, cuando las válvulas de purga de aire no están disponibles, existen dos métodos alternativos para eliminar el aire retenido: instalar una válvula de control o perforar la tubería en la zona crítica con un clavo y sellar el agujero con un tornillo de aluminio o cobre. Estos métodos son más baratos que el de la válvula de purga pero tienen el inconveniente de que no son métodos automáticos y requieren ser operados manualmente por habitantes de la comunidad en cuestión. En ocasiones, cuando la tubería se rellena después de haber estado vacía, la válvula se abre (o se retira el tornillo) de tal manera que el aire salga al exterior y no quede aprisionado. A continuación, se incluyen los criterios que determinarán si un trazado de tuberías tendrá bloqueos de aire. En primer lugar, se explica más en detalle cómo se crean y después se planteará el procedimiento de análisis y las estrategias para minimizar dicho problema.

3.10.3. Desagües de limpieza

Después de un tiempo de uso, las partículas en suspensión que transporta el agua irán sedimentándose en los puntos bajos del sistema o donde la velocidad del caudal no supere los 0,7 m/s. Normalmente, los tanques de distribución permiten la sedimentación de muchas de estas partículas pero las tuberías anteriores a dicho tanque no se benefician de este fenómeno. En los tanques de rompe-presión no se produce sedimentación debido a la extrema turbulencia que tiene el agua en estos puntos.

Los puntos de limpieza se deben colocar en las zonas bajas de los principales perfiles en “u” del sistema. El número de puntos de limpieza depende de la fuente de donde proviene el agua; un arroyo aportará muchas más partículas en suspensión que un nacimiento.

3.10.4. Tanques de rompe-presión

La función de un tanque de rompe-presión es permitir descargar el caudal de agua a la atmósfera, reduciendo consecuentemente la presión hidrostática a un valor de cero y estableciendo así una nueva línea estática. La colocación estratégica de estos tanques puede minimizar la cantidad de tubería de PVC de 16 atm y de HG empleada en el sistema (salvo en los puntos de perfil de “u”). En ocasiones resultará más barato instalar un tanque de rompedor y tubería de PVC 10 atm que instalar directamente PVC 16 atm. No hay unas dimensiones mínimas que deba tener el tanque de rompedor. La idea es que permita que el agua se drene a la misma velocidad a la que se llena.

3.10.5. Cajas de válvulas

La función de una caja de válvulas es la de proteger una válvula de control de manipulaciones indeseadas o de factores externos que modificarían el equilibrio hidráulico del sistema alterando el caudal que se suministra. Las cajas de válvulas pueden colocarse junto a estructuras, como suele pasar con los depósitos de distribución, o pueden estar colocados de manera independiente en un punto del trazado de tubería, en algún lugar estratégico como podría ser cercana a alguna ramificación o punto de servicio. Suelen ser de hormigón u hormigón armado y pueden contener tuberías tanto de PVC como de HG. Las dimensiones y diseño están en función del número y tamaño de las válvulas, de la frecuencia con la que se van a operar, etc.

4. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO

4.1 Estudio Socioeconómico de la región

En la región Danyí la falta de acceso al agua para el consumo humano no afecta por igual a hombres, mujeres y niños, ya que son estos dos últimos sectores de la población los encargados de ir a recoger el agua diariamente, teniéndose que desplazar, en ocasiones, varios kilómetros. Esto les supone menos tiempo para desarrollar otros trabajos remunerados, participar en actividades comunitarias o, simplemente para asistir a la escuela.

Según los datos proporcionados por el hospital de la zona en el año 2006 las infecciones intestinales y diarreas agudas fueron la primera causa de hospitalización después de la malaria. (Anexo I)

Actualmente el agua que la población utiliza en su vida cotidiana es la misma indistintamente para lavar la ropa, beber o cocinar. En época de lluvias la captación se realiza de un riachuelo que pasa cerca del pueblo o se recoge el agua directamente de la lluvia, con lo que se pierden las sales minerales que se encuentran en las aguas superficiales. En época seca la población tiene que recorrer una gran distancia para abastecerse de agua. Las aguas de los países de climas tropicales en general, contienen gran cantidad de parásitos. Un análisis que realizó el ministerio de sanidad (Anexo I) en la zona así lo corrobora.

No han sido muchas las propuestas de actuación que sobre el tema del agua se han planteado en el ámbito nacional, aunque sí se han realizado algunos diagnósticos y trabajos en zonas concretas por parte de ONGs e instituciones. En todos los ejemplos estudiados en comunidades togolesas similares a la de Danyí–Apéyémé, el abastecimiento de agua ha sido realizado por ONGs o por la Embajada Francesa, siendo los casos más cercanos los pueblos de Atigba y Dozbegan.

Un equipo de voluntarios de IROKO DFS realizó en campo, con la ayuda continuada de las contrapartes BIEN-ETRE, APED y AJEVES, un completo estudio sociológico que incluyó los siguientes puntos:

- Reunión con las autoridades tradicionales (Consejo de Notables) y oficiales (Prefecto): buscando la aceptación por parte de la comunidad es indispensable una fluida comunicación con las autoridades y representantes de la comunidad, lo que en nuestra cultura equivaldría a los concejales y el alcalde.

- Comprobación de los conocimientos que tiene la comunidad sobre la tecnología. Se ha observado que las personas están familiarizadas con las herramientas básicas que permiten reparar una instalación eléctrica de una casa particular y poner a punto todo el mecanismo más simple de un vehículo. Esto significa que tienen conocimientos de mecánica y electricidad. No será muy difícil encontrar personas cualificadas para llevar el mantenimiento de las instalaciones que se van a desarrollar en el proyecto. Actualmente es una sociedad que está familiarizada con la tecnología más básica.
- Censo poblacional: no existiendo anteriormente, se hizo imprescindible estimar la población para evaluar las necesidades hídricas por barrios y definir la ubicación de las futuras fuentes, así como el caudal necesario para su abastecimiento, el número de niños escolarizados, el número de personas que trabajan, los diferentes trabajos que desarrollan o qué casas cuentan con el servicio de electricidad y letrinas (Anexo II). Se han sacado importantes resultados, como:
- En la actualidad hay una población de 8.500 personas entre los dos municipios, con un índice de natalidad de 2,24%.
- En Atigba se encuentra el sistema de agua potable más cercano, a una distancia de 5 Km. donde la garrafa de 25 L. tiene un coste de 250 CFA incluido el precio del transporte, mientras que los habitantes del pueblo pagan 15 CFA por la garrafa de 25 L. El problema que se ha planteado es que el sistema es insuficiente, como consecuencia de que se ha abastecido de agua potable a una población más pequeña (Atigba), situada muy próxima a una población mucho mayor (Apéyémé) la que el 34% de la población consume agua en Atigba. Llevando el sistema de agua potable en las poblaciones de Apéyémé y Todomé se conseguirá que la población de Atigba no tenga problemas de abastecimiento, se dará agua apta para el consumo humano a una comunidad de 8.500 personas, se acercará el agua a poblaciones limítrofes con un número de habitantes comprendido entre 100 y 500 personas y se dará servicio al hospital de la región que se encuentra en Apéyémé.
- Se visitaron los trabajos que estaba realizando una ONG francesa sobre la instalación de un sistema de agua en el pueblo Dozbegan, con una población de 2.000 habitantes. Aquí existe el mismo problema que en el pueblo de Atigba, (Dozbegan y Apéyémé-Todomé) pero en el momento en que se pongan en funcionamiento dos sistemas en la misma región junto con el de Atigba, ya quedarán cubiertas las primeras necesidades en esta región (Danyí).

- Encuestas específicas: Se realizó un completo cuestionario para terminar de caracterizar el medio económico y social de la región. Este cuestionario se dirigió a Asociaciones y autoridades políticas y sanitarias. (Anexo II)

4.2. Reconocimiento de las instalaciones del pueblo

Para averiguar cuáles eran las infraestructuras existentes, se analizó el sistema de abastecimiento de agua potable del pueblo de Apéyémé, instaurado hace 30 años, que consistía en un sistema de abastecimiento de agua potable, la que contaba con una captación de agua mediante un dique en el río Tonón, (segundo río mas caudaloso después del río Danyí) que en la actualidad se encuentra totalmente colmatado e inutilizable. Mediante una bomba centrífuga alimentada con un generador se impulsaba el agua desde la captación hasta el depósito donde se le aplicaba un tratamiento de cloración y por gravedad se distribuía a todas las fuentes comunales de la población de Apéyémé. Se visitaron las instalaciones del dique y sorprendió el alto nivel de colmatación que se producía en estas condiciones climatológicas y geográficas. Los habitantes con más edad recordaban que el sistema funcionó durante unos meses cuando las bombas de impulsión dejaron de funcionar por una avería, nadie volvió a repararlas, evidentemente tampoco les formaron para hacer un mantenimiento.

En la población de Todomé una ONG belga construyó un sistema de abastecimiento de agua potable con un dique en el río Danfowui donde una bomba de ariete impulsaba el agua hasta el depósito, donde se aplicaba el tratamiento de cloración. Después se distribuía por gravedad hasta las fuentes. Aquí también construyeron un dique que en la actualidad estaba colmatado al igual que el de Apéyémé, pero este sistema se construyó hace 10 años. El sistema dejo de funcionar porque una pieza de la bomba se rompió y no tenían recambios. Con esta mala previsión del mantenimiento y de las instalaciones no se ha podido conseguir un proyecto sostenible durable en el tiempo que consiga su objetivo.

Fue muy interesante conocer el problema del alto riesgo que tiene esta zona de colmatación para poder tomar la alternativa mas acertada. Al comprobarse lo que puede suceder a corto y medio plazo en la instalación de un dique.

4.3. Descripción de la población y características físicas de la zona

4.3.1. Situación geográfica

Togo se encuentra en África occidental, en el golfo de Guinea. Al Sur le baña el océano Atlántico, al Oeste limita con Ghana, al Norte con Burkina Faso y al Este con Benin. Forma una estrecha franja de unos 50 Km. de ancho.



Figura 10. Mapas de Togo.

Datos de interés.

Superficie:.....54.390 km²

Población:.....5.548.702

Índice de pobreza:.....32,3%

Esperanza de vida:.....57,42 años

Mortalidad infantil:.....60,63/1.000

Acceso agua potable:.....48%

Analfabetismo hombres:.....13,9%

Analfabetismo mujeres:.....13,4%

PIB por Habitante:.....1.093 €

Las poblaciones de Apéyémé y Todomé se encuentran en la Prefectura de Danyí. La población cercana de mayor tamaño es Kpalime que dista unos 25km.



Figura 11. Situación local de Apéyémé.

Este apartado está dividido en 2, la primera parte hace referencia a las condiciones geológicas de la zona de estudio (tipo de suelo, orografía e hidrografía) y la segunda a las condiciones climáticas (temperatura y humedad). También se hará referencia a los actuales usos del suelo.

4.3.2. Condiciones geológicas

En relación con el proyecto de agua potable los principales condicionantes son la poca profundidad del suelo y la composición del mismo (las primeras capas están compuestas de arcillas lo que dificultará el trabajo en la época lluviosa)

Orografía:

La región de Danyí se encuentra en una meseta a una altitud de 800 m sobre el nivel del mar.

Hidrografía:

La comunidad presenta un único cauce de agua permanente. Durante la época lluviosa hay numerosos cauces temporales que se secan en la época seca. En el momento de realizar este

estudio se comprobó la existencia de unos manantiales naturales, pero ninguno de ellos es suficiente para cubrir sus necesidades. Únicamente se cuenta con el río Tonón con el suficiente caudal durante todo el año que garantice el suministro de agua y que esté situado a una distancia aceptable.

4.3.3. Condiciones climáticas

El clima de Danyí es de tipo tropical cálido y húmedo. Tiene una época de lluvias bastante larga y una seca no muy bien definida entre los meses de Noviembre y Marzo. La temperatura media varía entre 23 °C en diciembre y 32 °C en mayo. Las máximas entre 30-45 °C y las mínimas entre 17° y 23°. Las precipitaciones son muy similares al resto de los territorios de Togo con valores comprendidos entre 1.200-3.000 mm/año. La humedad relativa es muy alta, llegando a valores del 70% a primera hora de la mañana. Los momentos de menor humedad relativa se dan a mediodía y están entorno al 60%.

Básicamente son tres los usos del suelo que presenta la región de Danyí: agrícola, “forestal” y urbano. El término forestal aparece entrecomillado porque no se trata de una explotación forestal comercial sino más bien de subsistencia, siendo lo más común la recolección de especies silvestres para uso doméstico. Según los distintos usos se pueden determinar el tipo de vegetación y características de la zona. Las zonas agrícolas son ecosistemas en los que domina un cultivo principal pero que también albergan otras especies, fundamentalmente en las zonas limítrofes. Las zonas forestales albergan las especies típicas del Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido (BMHSC), así como algunas especies animales asociadas a esta zona vegetal. La zona urbana supone una pequeña parte del territorio pero su impacto es muy significativo.

4.3.4. Alternativas y descripción de la propuesta seleccionada

Se han analizado las distintas alternativas para establecer un sistema de agua potable capaz de cubrir las necesidades de la comunidad durante todo el año. A continuación se describen las posibilidades existentes así como la propuesta que se considera más viable.

Durante la visita realizada por el estudiante de la Universidad Carlos III de Madrid se analizaron 5 nacimientos naturales y ninguno de ellos se considera apto como fuente de agua ya que no daban un caudal suficiente.

En la temporada seca se analizaron los ríos más cercanos a la población de Danyí, observándose que el río Tonón es el río mas caudaloso en temporada seca, pudiendo suficiente agua durante todo el año.

Se consiguieron dos presupuestos de dos empresas diferentes para realizar primero un estudio geológico y una perforación y así extraer el agua de un pozo, con la ventaja de que los tratamientos de potabilización serían mucho menos costosos que los aplicados al agua que se extraiga de un río, que tendría una gran cantidad de suciedad, sólidos en suspensión y parásitos.

Según lo anterior, las alternativas resultantes para la fuente son dos:

Alternativa 1. Perforar un pozo mecánico de gran profundidad.

Alternativa 2. Tomar como fuente de agua principal el río Tonón.

En cualquiera de los dos casos, para el almacenamiento de agua es necesario instalar un depósito. Se instalará por tanto un depósito en un punto elevado para distribuir el agua por gravedad, de volumen suficiente para cubrir las necesidades de la comunidad durante la vida útil del proyecto.

4.3.4.1. Alternativa 1: Perforación de pozo

La alternativa del estudio geológico y del pozo profundo tiene un coste muy elevado en relación al anterior. Según los datos facilitados por la organización del Ministerio de Agua de Togo, la práctica totalidad de las fuentes de agua para sistemas de abastecimiento en la región, son pozos mecánicos de entre 100 y 200 m de profundidad. Debido al elevado coste de implementación esta alternativa junto con la posibilidad de que no se encontrará agua, llevó a la conclusión de descartar la alternativa.

4.3.4.2. Alternativa 2: El río Tonón

Realizar la captación de agua en el río Tonón tiene la desventaja de ser un agua más contaminante (con una elevada carga de parásitos) cuya posterior limpieza y potabilización encarecerá el sistema, pero garantiza el suministro necesario de agua durante la vida útil del sistema, lo que es fundamental para el proyecto por lo que se ha seleccionado esta alternativa.

4.4. Descripción general del sistema propuesto

Para dar solución al abastecimiento de agua potable a la comunidad de Apéyémé y Todomé se propone realizar la captación en el río Tonón. El agua de la captación pasa por los tratamientos físicos antes de ser bombeada hasta un depósito de distribución elevado a construir en un punto alto. De esta manera el agua puede ser distribuida por gravedad hacia las fuentes que

van a estar distribuidas en el pueblo. Según lo anterior, el sistema estará integrado por los elementos siguientes.

4.4.1. Captación

Se realizará una acequia de derivación construida con cemento que desviará el caudal necesario del río hacia la planta de tratamientos físicos. Para asegurar el caudal suficiente en la derivación se construirá un azud que ocupará una parte del cauce principal. Se buscará la pendiente necesaria para tener una circulación fluida del agua y dispondremos de un aliviadero que conducirá el agua hacia el caudal principal del río para evitar que las crecidas deterioren las instalaciones. En las tomas de río, y debido a la velocidad del agua, aumentan los arrastres de flotantes, sólidos, arenas, maleza, etc. Para evitar que estas impurezas entren en las conducciones, se colocarán rejas de desbaste a lo largo de todo el canal de derivación.

4.4.2. Tratamiento físico

Una vez que el agua ha sido conducida a la planta, comenzará el tratamiento adecuado para su potabilización. Se construirán los filtros físicos que van a consistir en hacer pasar el agua a través de un lecho filtrante, normalmente este lecho será de arena y grava de distinta granulometría, que retendrán los sedimentos y sólidos en suspensión, así también se conseguirá que no lleguen hasta la bomba, evitando el riesgo de rotura.

4.4.3. Equipo de bombeo

De acuerdo a los cálculos realizados en función de las características de la fuente, su ubicación y el volumen de agua que hay que proporcionar a la población, el equipo de bombeo deberá consistir en una motobomba centrífuga de 21 CV de capacidad. El caudal de bombeo sería de 30 m³ /h, caudal suficiente para cubrir la demanda de la población, a un periodo de diseño de 20 años, que es la vida útil de este equipo de bombeo. En los anexos del presente estudio se adjunta una cotización del equipo de bombeo sugerido. (Anexo III)

4.4.4. Caseta de bombeo

Se construirá una caseta de 4x3 m de área efectiva, de paredes de bambú y techo de chapas de aluminio, donde se instalará el equipo de la motobomba, y se utilizará de almacén para disponer del material que habrá de usarse en la captación, los filtros y el equipo de bombeo.

4.4.5. Línea de impulsión

Será instalada desde la motobomba hasta la entrada del tanque de distribución, con una longitud aproximada de 1.500 m, con tubería PVC 90 mm y 16 atm, la altura manométrica es 100 m sumándole las pérdidas de carga nos queda en 140 m. Deberá instalarse además sus respectivas válvulas de control con sus dispositivos y accesorios.

4.4.6. Depósito de distribución

El tanque se situará en el punto más alto de la comunidad, en la parcela donde se encuentra la residencia del prefecto. La cota en este punto (820 m) es lo suficientemente elevada para que el sistema de distribución pueda funcionar por gravedad. La capacidad estimada para el tanque de almacenamiento es de 150 m³ volumen mayor que el necesario para abastecer a la población en un día de la época seca.

Debido a criterios de estabilidad estructural, facilidad de mantenimiento y menor coste, el depósito no se elevará en altura y será de hormigón armado. Para eliminar contaminaciones externas será totalmente estanco.

4.4.7. Desinfección y ajuste de PH

A la salida del depósito se instalará una bomba de cloro que aplicará la dosis necesaria para la desinfección del agua. Esta fase se realiza al final del proceso para evitar pérdidas de cloro por evaporación. También se agregará una dosis tampón para aumentar el PH y bajar la acidez del agua.

4.4.8. Red de distribución

El agua se distribuye por gravedad, la red de distribución, es el conjunto de tuberías y sus accesorios que conducen el agua potable desde el depósito de almacenamiento hasta las fuentes comunales del pueblo.

El sistema de distribución ha sido diseñado con tubería de PVC, al igual que la línea de conducción. Las tuberías van enterradas, al ir su trazado por el área urbana de la comunidad.

4.4.9. Fuentes comunales

Las fuentes se conectarán a partir de las tees colocadas en los ramales. En ese punto se dispondrá de una caja con una válvula de compuerta y un contador. Ello servirá para establecer el consumo de esa fuente. A partir de allí se conectará una tubería de PVC de 1" que irá hasta la fuente. Se colocarán dos grifos a diferentes alturas de un 1 m y 2 m de altura para facilitar la toma de agua.

Se ha estimado que cada fuente dará un caudal de 0,42 L/sg, es decir que una garrafa de 25 L tardará 1 minuto en llenarse.

5. BASES DE CÁLCULO Y DISEÑO

5.1. Periodo y población de diseño

5.1.1. Consumo doméstico

Se realiza el diseño del sistema previendo las necesidades de la comunidad en un plazo de 20 años que es el periodo de diseño planteado para este proyecto.

En el sistema elegido se van a instalar fuentes comunales distribuidas por el pueblo, se ha desestimado la posibilidad de instalar acometidas de agua domiciliarias, debido a su alto coste tanto en la ejecución del proyecto como en el mantenimiento del mismo. La población de Apéyémé conoce un sistema de agua potable que funciona mediante fuentes en la población de Atigba, este hecho facilita la puesta en marcha de este sistema.

Una vez tomada la decisión de poner fuentes comunales, se seleccionan los litros por habitante y día que se van a estimar para calcular las características técnicas del proyecto. En este proyecto se va a considerar 30 L/hab* Día, debido a que si fuera 80 L/hab*Día las mujeres y niños que se encargan de traer el agua estarían una gran parte del día transportándola, sin poder dedicarse a funciones más importantes como puede ser la formación académica, trabajar, etc, sin mencionar el esfuerzo físico que supone. Aplicando los datos en las fórmulas que están explicadas en el apartado de antecedentes, se obtienen los siguientes resultados:

$$P_n = P_0 \cdot (1 + tca)^n$$

Po = 8.000 habitantes.

Tca = 2, 41%.

N = 20 años.

Pn = 12.500 Habitantes vivirán entre Apéyémé y Todomé dentro de veinte años con una Tca = 2,41%.

5.1.2. Análisis del recurso hídrico de la zona

Para evaluar cuales serían la técnica a utilizar y el punto de toma de agua más adecuados se realizó una caracterización ecológica de las cuencas y estudio de caudales de los ríos más cercanos (Danyí y Tonón). El estudio de datos ambientales se realiza de forma simultánea mediante las continuas reuniones con las “contrapartes”, distintas encuestas distribuidas a la población, así como por las distintas interpretaciones visuales del equipo acompañadas a cada

toma de datos topográficos. De cada una de estas fuentes de información se desprenden multitud de datos sobre los cuales se obtienen conclusiones interesantes a cerca de la dinámica de la cuenca. También se estudian las características de los manantiales cercanos y se realizan análisis físico-químicos y microbiológicos (Laboratorios Estatales de la Dirección Técnica de la Sociedad Togolesa del Agua en Lomé) para evaluar la calidad de las aguas en campo y en laboratorio (ver Anexo IV).

5.1.3. Dotación y cálculo de caudales

Se comenzaron calculando los manantiales por el método del cronómetro y del bidón (ver apartado 3.3.1.1). El caudal más elevado que se calculó fue de 3 L/sg, insuficiente para poder dar un caudal de 6 L/sg. Después se calculó el caudal de los ríos por el método área-velocidad. El río Tonón es el que presenta un mayor caudal, con 200 L/sg suficiente para dar servicio a nuestra instalación.



Figura 12. Midiendo caudales en los manantiales.

El dato relevante para la selección de la fuente de agua, fue la temporada seca, tiene un periodo de duración desde mediados de noviembre hasta finales de abril. Con los datos que se pudieron recoger gracias al trabajo en terreno del estudiante de la universidad Carlos III se pudo comprobar que en noviembre cesaron las lluvias y la temperatura aumentó unos 4° C, en estas condiciones todos los manantiales se encontraban secos. Los ríos disminuyeron sus caudales de una manera considerable, se precedió a medir el caudal a mediados de Diciembre con un resultado de 160 L/sg, en el punto del río Tonón más cercano a la localización del depósito de distribución. En febrero se han enviado los últimos resultados del caudal del río medidos por un voluntario de una asociación de la contraparte, con un caudal de 44 L/sg.

Ahora se va a calcular el caudal necesario utilizando la fórmula del apartado 3.1.2.

$$Q_{necesario} = Pn.l / sg \left(\frac{1dia}{24horas} \right) \left(\frac{1hora}{60min} \right) \left(\frac{1min}{60sg} \right)$$

$$Q_{necesario} = 4,43 \text{ L/ sg.}$$

$$Q_{necesario} < Q_{fuente}.$$

comparando los datos que se obtienen, el río tiene suficiente agua, incluso en la época seca que es la más desfavorable del año.

5.2. Partes del Proyecto a ejecutar

5.2.1. Captación

En el cauce principal del río se va a colocar un pequeño azud de hormigón para asegurar el caudal necesario en la entrada a la derivación.

Para realizar esta captación la toma de la derivación se va a reforzar con hormigón en los bordes y en el fondo. Al aplicar estas medidas a la canalización se evitará, que en las diferentes crecidas del río se obstruya o se deforme la derivación.

Es muy importante a la hora de realizar la derivación que exista suficiente pendiente para que el agua alcance los filtros llegar a los filtros de arena y para que el rebosadero vierta al cauce principal del río.

Las dimensiones del cauce serán una profundidad de 40 cm y un ancho de 50 cm, con un caudal mínimo de 50 m³/h, a una velocidad de 0,6 m/s. Este caudal será el necesario para asegurar el servicio continuo de agua a los filtros lentos, contando con las pérdidas de carga y la evaporación.

Al inicio de la toma de derivación se colocarán unas rejillas para realizar un desbaste de los sólidos más voluminosos, la distancia entre los barrotes será 120 mm. A mitad del trayecto se clorarán otras rejillas con una separación de 50 mm entre los barrotes, por último antes de los filtros de arena se realizara un desbaste fino, con una separación de 5 mm.

Antes del primer desbaste de la derivación se ubicará una compuerta para regular el paso del agua cuando se den crecidas en el río. Se colocará otra compuerta, regulará el paso del agua a

los filtros de arena, estará situada detrás del rebosadero que conducirá el agua sobrante al cauce principal del río.

En los planos que se adjuntan en los anexos se reflejan todas las características y dimensiones de la captación.

En ninguna parte de la derivación habrá problemas por la colmatación ya que estas dimensiones son muy pequeñas y la limpieza puede efectuarse en cualquier momento por el equipo de mantenimiento.

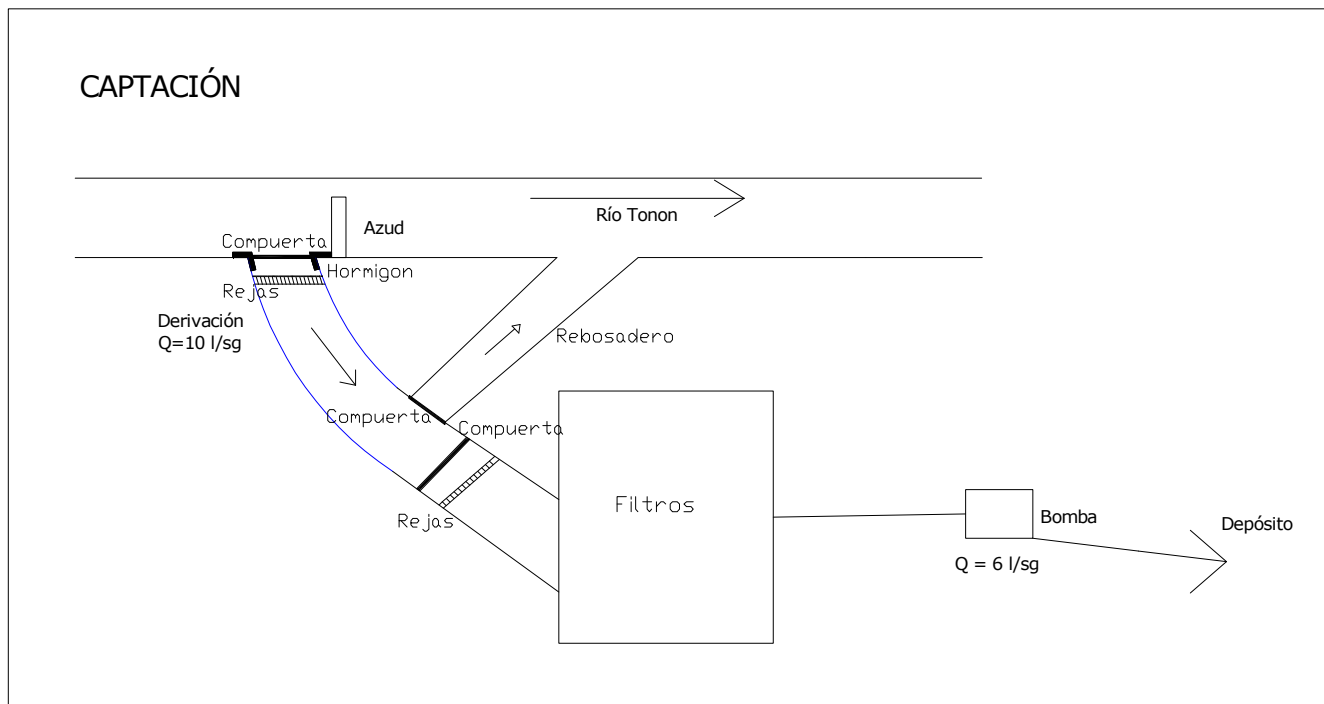


Figura 13. Plano de la captación.

5.2.1.1. Mantenimiento de la captación

Lo más importante es evitar la colmatación en las instalaciones de la derivación, para lo que es imprescindible realizar una limpieza de todo el fondo de la canalización semanalmente.

Diariamente hay que revisar el caudal del río para regular la compuerta de entrada a la derivación y así evitar que en las crecidas entre tanta agua que pueda dañar las instalaciones.

Las rejillas de desbaste tienen que estar siempre limpias de objetos que impidan el paso regular del agua.

5.2.2. Tratamientos

Una vez calculado el flujo de agua disponible se procede a analizar la calidad de dicha agua mediante análisis de laboratorio.

Los principales tipos de contaminación que se pueden encontrar en el agua en las zonas rurales, son restos de fertilizantes y pesticidas con presencia de microorganismos patógenos. Para comprobar si existe alguno de estos elementos, Se analizan los siguientes parámetros en los Laboratorios Estatales de la Dirección Técnica de la Sociedad Togolesa del Agua en Lomé y firmados por el subdirector del laboratorio K.B. DOLAAMA (Anexo IV).

Los análisis físicos químicos se van a realizar con el equipo que se ha traído de España, con capacidad de analizar los siguientes parámetros in situ.

Olor	Color	Temperatura ambiente	Temperatura del agua	PH
Turbidez	Conductividad	Dureza total	Dureza de Carbonatos	Amonio /Amoniaco
Nitrito	Fosfato	Nitrato	Hierro	Cobre.

Tabla 9. Los análisis realizados.

Lo más importante a destacar de los resultados son una elevada cantidad de microorganismos. En los resultados se obtiene un PH de 6, cuando la OMS advierte que el agua es apta para consumo humano entre los valores de 6,5 y 8,5 de PH, para subir el PH añadiremos unas piedras que utilizan ellos para aumentar la basicidad del agua.

Continuación se adjunta el cuadro que se utiliza para concretar los tratamientos físicos y químicos que se van al aplicar.

	Coagulación y Floculación	Sedimentación	Filtración Rápida	Filtración Lenta en Arena	Cloración
Clara y No Contaminada					
Ligeramente Contaminada, baja turbidez					
Ligeramente contaminada, turbidez media					
Ligeramente contaminada, turbidez alta					
Ligeramente contaminada, muchas algas					
Fuertemente contaminada, poca turbidez			X	X	X
Fuertemente contaminada, muchas turbidez					

Tabla10. Tratamiento que se va a emplear.

Este proyecto se comienza con las rejillas de desbaste que esta ya explicado en el apartado anterior, sigue con los filtros que van a realizar una función intermedia entre los filtros lentos de arena y los filtros de grava. Van filtrar a una velocidad entre 0,7 m/h y 1 m/h, después el agua se almacenará en un depósito para ser impulsado por la motobomba.

El agua llega a un colector donde se distribuye a los filtros por tuberías de diámetro 90 mm, todo regulado mediante válvulas de globo (Planos).

Se van a hacer unos filtros con una superficie de filtrado de 40 m², separados en 5 módulos, cada uno de ellos tendrá una dimensión de 5 m de largo y 2 m de ancho. Se dejará un módulo de reserva para utilizarlo en momentos en que la demanda sea excesiva o cuando se haga el mantenimiento de otro módulo, este será el que se encuentre en medio de los 5 (Planos).

Los filtros tendrá un espesor de 1 m, se cavará en el terreno un agujero de las dimensiones de 11 m de largo, 5,5 m de ancho y 1,30 m de profundidad, las paredes del agujero se reforzarán con planchas de madera, que también se utilizarán para separar los diferentes módulos. El agujero se recubrirá con una tela impermeable. Por último se dispondrá de dos extractos de grava en cada módulo, donde filtrará el agua, cada extracto tiene un espesor de 50 cm. En la parte inferior del filtro habrá gravas de 10 a 15 mm de diámetro y en la parte superior de 1 a 2 mm.

Los filtros tendrán un desnivel de 10° para que el agua drene al depósito.

Al final del filtro, en la parte inferior se colocará una red geotextil con el fin de sujetar la grava y permitir el drenaje, y a continuación mediante unos recogedores de plástico el agua de cada módulo se conducirá a un depósito abierto de 30 m³, de donde la motobomba impulsará el agua al depósito de distribución.

5.2.2.1. Mantenimiento de los filtros

La operación del filtro lento se basa en el control de la velocidad de filtración, la medición y la calidad del agua producida. Se ha de realizar por tanto un control del caudal de entrada realizar análisis de la turbidez (con los equipos necesarios). La manutención se basa en la recuperación de la pérdida de carga en los medios filtrantes con el lavado superficial y las descargas del fondo.

Para lograr un adecuado funcionamiento es muy importante que la puesta en marcha del filtro se realice lentamente para poder alcanzar la formación y maduración de la capa biológica en un tiempo más corto. Son tareas del operario regular el nivel de agua sobrante, remover el material flotante, medir la velocidad de filtración y decidir la limpieza del lecho.

En el área superficial del lecho de arena es donde se acumula la mayor parte del material inorgánico, orgánico y la biomasa. El raspado de esta parte permite recuperar la conductividad hidráulica del filtro. Para ello se ha de drenar el agua sobrante, raspar la capa superior, retirar el material raspado, nivelar la superficial de arena y comprobar la profundidad del lecho.

5.2.3. Impulsión

La motobomba de gasoil que va a impulsar el agua desde la captación hasta el depósito tiene que tener las siguientes características:

- Altura manométrica 100m.
- Altura manométrica mas pérdidas de carga 140 m.
- Caudal 30 m³/h.
- Bomba Centrífuga.
- NPSH = 1m.

Se va utilizar una motobomba, que es una bomba acoplada a un motor como se puede ver en la fotografía. Se ha descartado la alternativa de utilizar un generador ya que los costes iniciales de maquinaria y mantenimiento son muchos más altos.

La bomba que aparece en la figura 14 es orientativa. El tipo de bomba concreto que nos haría falta.

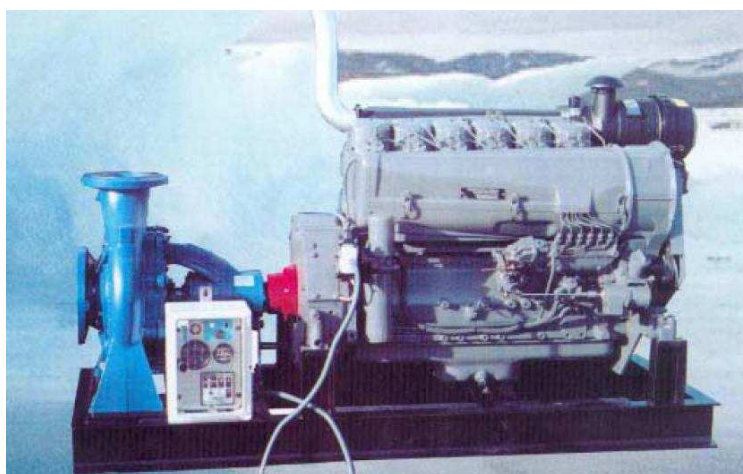


Figura 14. Foto de la motobomba.

5.2.3.1. Cálculos de la motobomba

A continuación se dan los resultados de los cálculos para la elección de la bomba.

Pérdidas de carga:

$$P_{dc} = 1,3 \bullet J \bullet L$$

Pérdidas de carga de la tubería principal: Para los tubos de PVC se ha tomado el valor de $J = 0,01$ calculado mediante la fórmula de Darcy-Weisbach y la longitud es $L = 2500$ m.

$$P_{dc} = 32,5 \text{ m}$$

Pérdidas de cargas locales.

$$P_{dCl} = \frac{L}{D} \bullet D_{int}$$

Codo de 45° se aplica coeficiente de $L/D = 20$

Codo de 90° se aplica coeficiente de $L/D = 30$

$$D_{int} = 76,6 \text{ mm}$$

$$P_{dCl} = 4 \text{ m}$$

Altura total manométrica:

$$H_t = H_g + P_{dC} + P_{dCl}$$

$$H_g = 100 \text{ m}$$

$$H_t = 140 \text{ m}$$

Potencia absorbida:

A la hora de seleccionar el caudal se ha escogido $30 \text{ m}^3/\text{h}$ debido a que el depósito de 150 m^3 , tarda un tiempo de 5 horas en llenarse.

$$Pot = Q_1 \cdot 9,81 \cdot H_t$$

$$Q_1 = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P = 11,33 \text{ Kw} \quad P = 15 \text{ cv}$$

Comprobación de la presión que aguanta el timbraje.

$$Comprobacion = Tim - \frac{Ht}{10}$$

Tim = 16 atm la presión máxima que puede soportar la tubería.

Comprobación = 2 atm de margen con una tubería de 16 Atm.

Sección.

$$S = \frac{\Pi * D^2}{4}$$

D = 76,6 mm

$$S = 0,0046 \text{ m}^2$$

Velocidad.

$$V = \frac{Q_1}{S}$$

$Q_1 = 0,00825 \text{ m}^3/\text{sg}$

$S = 0,0046 \text{ m}^2$

$$V = 1,8 \text{ m/sg}$$

Se va a seleccionar un grupo motobomba debido a que en el lugar de implantación del sistema no se dispone de corriente eléctrica.

Para seleccionar la motobomba se tienen las siguientes características.

- Potencia absorbida de 15 Cv.
- Caudal de 30 m³/h.
- Altura manométrica de 140 m.

Se ha consultado a varios fabricantes y se ha seleccionado la motobomba más apropiada a las características del sistema.

5.2.3.2. Análisis de las curvas características

El comportamiento hidráulico de un determinado modelo de bomba viene especificado en sus curvas características que representan una relación entre los distintos valores de caudal relacionado con otros parámetros como:

- Altura manométrica.
- Rendimiento.
- Valores en la curva NPSH (Net Positive Suction Head).
- Potencia en el eje.

El punto de diseño de una bomba lo constituye aquél en el que el rendimiento es máximo. A la hora de seleccionar nos centraremos en aquellas cuyo punto de diseño esta próximo a las condiciones de trabajo que requerimos. Un grupo que trabaja en un punto muy alejado de su punto de diseño no realiza una transformación eficiente de la energía mecánica en energía hidráulica, lo cual implica un coste excesivo de la energía de explotación, y está sujeto a un mayor número de averías.

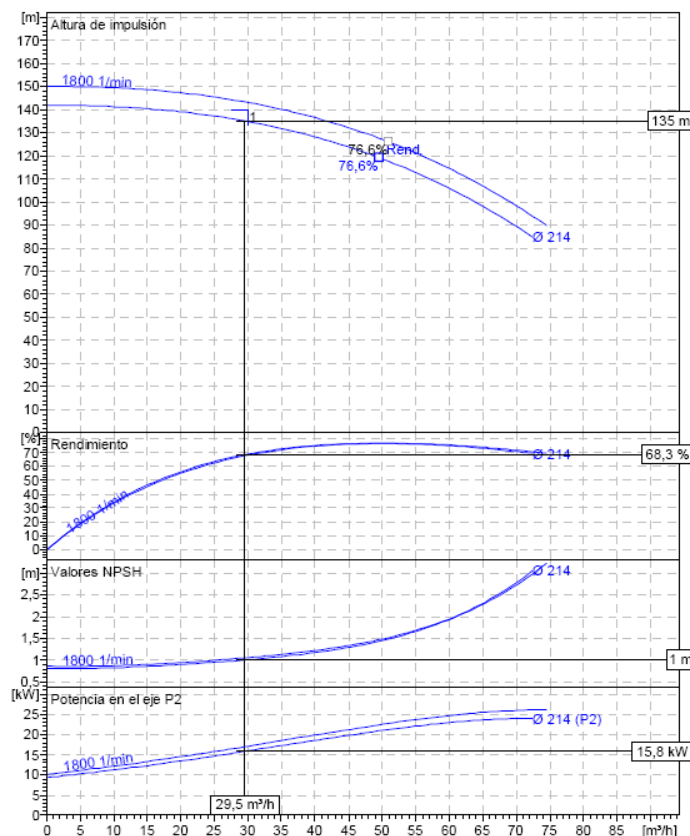


Figura 15. Curvas características de la motobomba.

El punto de funcionamiento de una bomba va a estar determinado por la intersección de la curva característica de la conducción o de la red con la curva de carga (curva caudal-altura manométrica) de la bomba. Esta curva nos delimita la viabilidad de la bomba. La curva de la gráfica cumple las condiciones exigidas, muestra que a 140 m de altura manométrica llega un caudal de 30 m³/h, el problema que surge al seleccionar una bomba que no tenga una curva que

cumpla las condiciones de altura manométrica y caudal es que no llegue el suficiente caudal al punto requerido, en este caso agua.

El resto de las curvas están enfocadas principalmente a la eficiencia y a la vida útil de la bomba.

En la gráfica la potencia absorbida es de 15,8 Kw. para poder impulsar una columna de 30 m³/h. es una gráfica proporcional, cuanto más caudal más Kw. se necesitan.

En la gráfica se ve que con esta bomba tiene un rendimiento del 68,3 %, en una bomba centrífuga se suele conseguir este tipo de rendimientos, bastante aceptables. Vemos que si damos un caudal de 50 m³/h, el rendimiento llegaría al 75% ó 80 %, pero con ese caudal no llegaría a cubrir una altura manométrica de 140 m.

Se va a calcular el $NPSH_{disponible}$ para comprobar si es mayor o menor que el $NPSH_{requerido}$ que es 1 m en nuestra bomba.

$$NPSH_d = S - (P_s + P_{vp}) - (H_{pl} + H_p)$$

$$S = 7 \text{ m.c.a.}$$

$$P_s = 1,5 \text{ m}$$

$$P_{vp} = \text{Se desprecia porque la altura de aspiración es muy pequeña.}$$

$$H_{pl} = 3,750 \text{ m codo de } 90^\circ L/D = 33$$

$$P_{dCl} = \frac{L}{D} \bullet D_{int}$$

$$H_p = 0,0325 \text{ m } L = 2,5 \text{ m}$$

$$P_{dc} = 1,3 \bullet J \bullet L$$

$$NPSH_d = 2 \text{ m.}$$

$$NPSH_d > NPSH_r$$

Se cumple y se obtiene un metro por encima de lo necesario, así cumpliendo estas dimensiones no se producirá el fenómeno de la cavitación.

La tubería de aspiración de la bomba es de PVC de un diámetro de 125 mm y de 16 atm con un diámetro interior de 106,4 mm. La profundidad mínima que tiene que tener el depósito es de 0,5m para que la bomba tenga suficiente agua para poder aspirar. La aspiración máxima es de 1 m. La tubería de impulsión es de hierro galvanizado de 65 mm de diámetro, una vez que llegue a enterrarse en el suelo pasará a ser de PVC.

En la tubería de impulsión se colocará una válvula de clapeta para garantizar que no se rompa la motobomba cuando la columna de agua que no haya llegado al depósito porque la bomba ha dejado de impulsar, (que sería el denominado golpe de ariete). En nuestro caso con el cierre de la bomba no se produciría, pero preferible instalar la válvula de clapeta por seguridad.

La válvula de compuerta es necesaria para realizar trabajos de mantenimiento en la motobomba.

El cierre de la bomba es de empaquetadura ya que el cierre mecánico implica un mantenimiento es mucho más caro. Aunque con el cierre de empaquetadura se den pequeñas fugas no hay ningún peligro porque el líquido que se vierte es agua, (sería diferente si se tratara de una bomba de gasoil).

Con el plano siguiente se expone el montaje de la Motobomba:

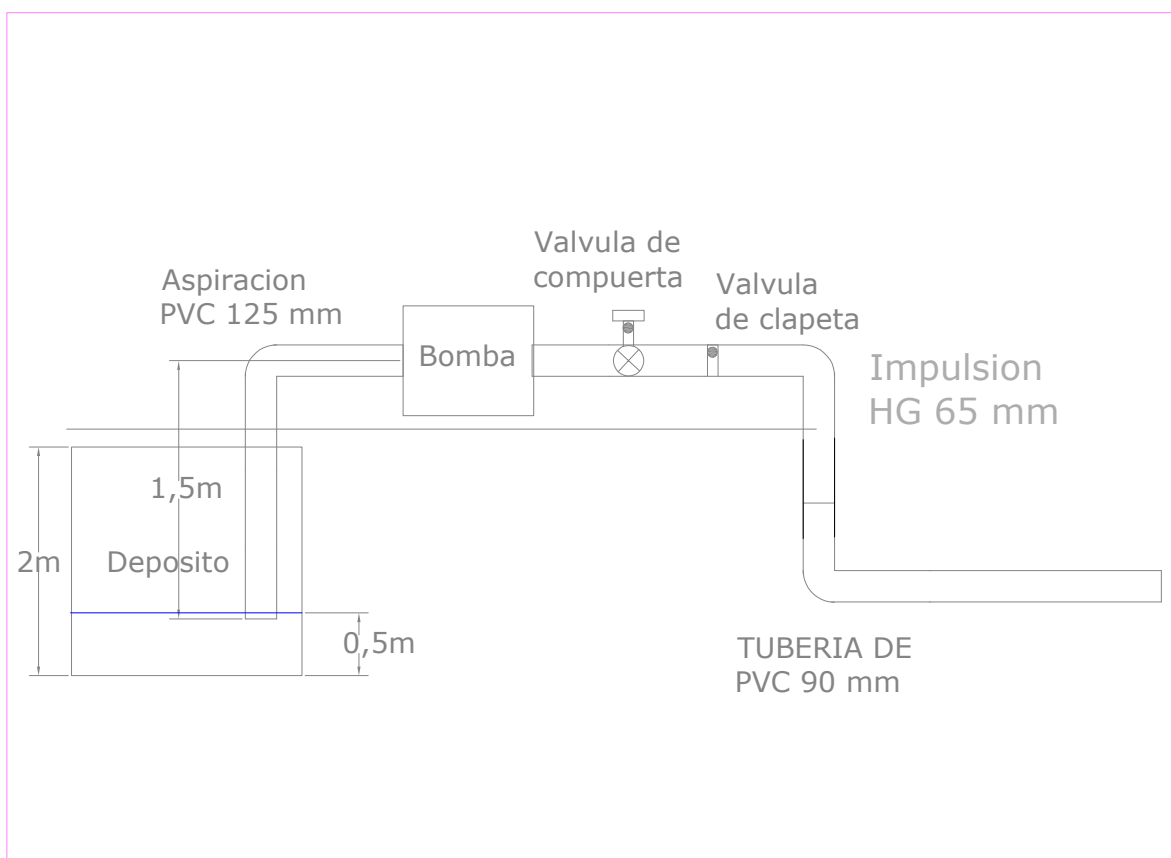


Figura 16. Plano de la instalación de Motobomba.

El motor tiene las siguientes características:

Los datos del motor:

Modelo: Deutz F3L912

Potencia: Con 44 HP, 45 cv

Peso: 7,5Kg.

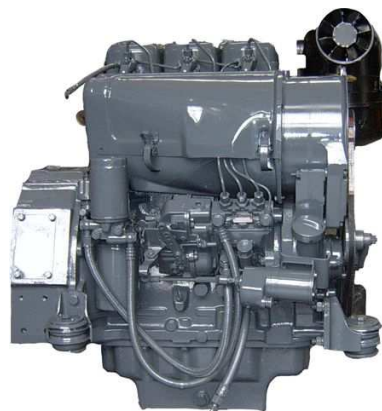


Figura 17. Foto del motor de la motobomba.

Es necesario realizar un control del caudal de agua bombeado y el encendido y apagado del equipo de impulsión diariamente.

5.2.5. Conducción

Para llevar el agua desde la bomba hasta el depósito la conducción se realizará por medio de tuberías de PVC de 90 mm de diámetro exterior y de un timbraje de 16 atm. La longitud de tubería necesaria es de 2.500 metros, un codo de 90° y otro de 45°.

Se entierra a 0,70 metros de profundidad para evitar que se deteriore con la exposición al sol. Entre la zanja y la tubería se situará una cama de arena para evitar daños en la tubería.

A continuación se muestra un esquema de la instalación de la tubería que comunica el depósito con la motobomba.

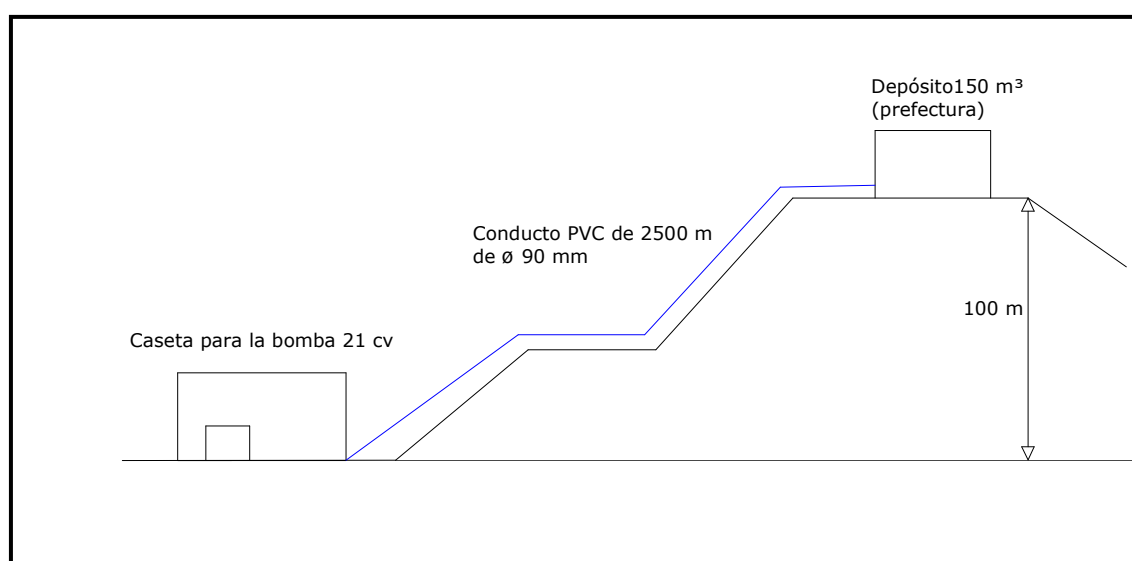


Figura 18. Plano de la conducción motobomba hasta el depósito.

5.2.5.1. El proceso de la instalación de las tuberías

Entrega de materiales.

Se va a explicar el proceso a seguir para la instalación de las tuberías desde la entrega del material hasta la puesta en marcha.

1. Preparar un lugar para el almacenamiento de materiales, incluyendo una caseta para las tuberías.
2. Revisar la entrega y especificaciones de los materiales con la orden de pedidos.
3. Colocar los tubos en un sitio cercano al centro de trabajo no más de dos grupos, a menos que exista una maquina disponible.

Ensamblaje de piezas

1. Asignar un lugar para el ensamblaje de las piezas en un área central y bien equipada.
2. Colocar el equipo de ensamblaje (mesas, herramientas, tapas de teflón, llave de tuercas, sierra, etc.) en el área de trabajo.

Marcar el campo y hacer zanjas

1. Marcar las rutas principales, los límites del terreno, y las tuberías, carreteras, etc.
2. Excavar las zanjas que seguirán las tuberías principales.

Ensamblaje de las tuberías.

1. Colocar los tubos de las tuberías principales y secundarias que se vayan a utilizar al lado de las zanjas.
2. Al ensamblar las tuberías principales a través del mecanismo de la junta elástica mediante pegamento, cuando se trate de tes o codos, antes de utilizar el pegamento lijar bien las partes de unión para que queden bien adheridas.
3. Los tubos expuestos a la luz del sol se expanden y se contraen durante la noche. Este proceso puede reducir la vida útil del tubo, separar las uniones y causar otros problemas. Las tuberías permanentes se deben colocar en la zanja y cubrir lo más pronto posible.

4. Cortar los tubos de PVC cuidadosamente para que haya un buen corte. Cortar los tubos de diámetro pequeño (10 cm. o menos) con un cortador de tubos. Cortar los tubos más grandes con una sierra eléctrica.
5. Bajar las tuberías principal y secundaria cuidadosamente hacia las zanjas.
6. Ensamblar los codos, tes, reductores, tubos de levantamiento, terminaciones de tubería, salida de lavado y válvulas. La mayor parte del trabajo de ensamblaje debe completarse fuera de las zanjas.

Llenado parcial.

1. Rellenar con arena parcialmente las zanjas después de colocar las tuberías.
2. Hay que llenar todos los lugares bajos tan pronto como sea posible, durante la época de lluvia para evitar que entre agua en la zanja.

Instalación de líneas laterales y evaluación del sistema, flujo y presión.

1. Abrir el sistema. Llenar la línea principal. Abrir las llaves de paso para que salgan los materiales extraños de las tuberías.
2. Cerrar las válvulas y comprobar la presión.
3. Mantener el sistema activo por 24 horas. Si se desarrolla una fuga de agua en la línea principal, cerrar el sistema inmediatamente, reparar la tubería y comprobar de nuevo.

Comprobar la operación de los controles, las válvulas, filtros y el sistema.

1. Una vez que el sistema esté funcionando adecuadamente, tomar la presión y lecturas de las bombas, filtros y válvulas principales.
2. Cuando se ha comprobado que todos los tubos, piezas, alambres eléctricos y mangas hidráulicas funcionan adecuadamente rellenar todas las zanjas. Tener cuidado durante el llenado de zanjas para evitar derrumbes y otros daños en los tubos.

5.2.6. Almacenamiento

La capacidad estimada para el tanque de almacenamiento es de 150 m^3 , que será más del agua necesaria para abastecer a la población en un día de la época seca. Con 150 m^3 y una motobomba de caudal $30 \text{ m}^3/\text{h}$, el depósito tardaría en llenarse 5 horas. En la situación más desfavorable, es decir si en un día concreto hubiera un aumento de la demanda, llenar $1/3$ de la capacidad total del depósito supondría 1 hora y 15 minutos.

El tanque estará provisto de una escotilla que permita la entrada al mismo para realizar tareas de limpieza cuando éstas sean necesarias. En los laterales del depósito se dispondrán dos respiraderos, vigilando que no entre agua de lluvia. También contará con un rebosadero para asegurar que el agua de su interior no entra en carga.

Se construirá una caja de válvulas junto al depósito desde donde se podrá controlar la entrada de agua desde el depósito inferior de la (captación) y la salida de agua hacia las dos zonas de la comunidad. Así pues existirán dos tuberías conectadas al depósito (entrada y salida de agua).

Es fundamental asegurar que el agua del depósito no circule en dirección hacia el depósito inferior, esto se conseguirá colocando la tubería de entrada en lo alto del depósito. La base interior del depósito poseerá una ligera pendiente que asegure la concentración en una zona baja de todos aquellos elementos que puedan depositarse en el fondo. En ese lugar se colocará un punto de desagüe, que deberá estar convenientemente protegido, para facilitar el vaciado del depósito en caso de ser necesario.

5.2.6.1. Tuberías del depósito

Sería necesario colocar una tubería para vaciar el depósito y poder limpiarlo, será de PVC diámetro de 125 mm, terminada en una pieza del tipo racor-bridá, (también se llama bridá-liso), con una bridá ciega atornillada que sirve de tapa, solo se puede quitar aflojando los tornillos y es mucho más barato que una válvula cualquiera y evitará que nadie la abra para coger agua. Cuando se afloja la bridá ciega sale el agua del fondo del depósito, esta agua del fondo normalmente no es potable.

Cuando se acaba la limpieza, se mete una manguera con agua limpia desde dentro del depósito para limpiar los restos de suciedad que hayan quedado en el último tramo del tubo, si no se tiene agua con presión se pone la tapa ciega y se vierte en ella el resto de la cal que se haya preparado para encalar el depósito por dentro.

Las ventilaciones que se han diseñado actúan también de rebosadero cuando al agua llega a su altura, el problema de los tubos rebosadero en este tipo de instalaciones es que tienen que estar abiertos y ser relativamente grandes para que sean útiles pero por ellos entran y pueden vivir organismos difícilmente controlables y que dentro del tubo encuentran condiciones humedad y temperatura. Las ventanas de ventilación con malla mosquitera clavada por el lado de fuera, sólo permiten el paso de insectos pequeños que no resisten la concentración de cloro en el aire próximo del interior del depósito.

La entrada de agua debe estar a una altura elevada en este caso a 1,9 m desde el fondo más o menos, y la trampilla de acceso de la cubierta se ubicará sobre ella en ese punto, para poder inspeccionar el llenado abriendo la trampilla, sin que sea necesario bajar, ni recurrir a posturas complicadas para ver el interior, también se pueden tomar muestras del agua que llega por el tubo antes de que se mezcle con la que ya hay en el depósito, para comprobar si trae tierra o cualquier otro elemento.

El tubo de salida a la red debe estar a 15 cm. por encima del fondo (nunca en el fondo) porque es de suma importancia que los 15 cm de agua del fondo del depósito no entren a la red en ningún caso. Si se desea hormigonar el tubo de salida la red al fondo del depósito, es necesario poner un tubo vertical que sobresalga del fondo 15 cm para cumplir esta premisa. Finalmente este tubo de salida debe estar lo más lejos posible del de entrada para garantizar un tiempo mínimo del agua en el depósito antes de que salga a la red. Así mismo este tubo de salida debe tener pendiente constante positiva desde el depósito a la red, evitando cualquier clase de sifonamiento en los primeros 50 m de la red de distribución de agua.

5.2.6.2. Detalles de construcción

1. La losa del fondo se compondrá de dos armaduras en la losa del fondo, una losa armada que sirve de cimientado o de solera y otra de solería terminada.
 - a. Las armaduras están hechas con barras de hierro para armadura, B-500S de 15 mm de diámetro nominal.
 - b. Las barras están separadas 15 cm. en las dos direcciones formando una reja cuadrada de 15 x 15 cm, (diámetro nominal de la barras: 15 mm). Se utilizan de 15 cm para que sea más resistente y prevenir que el terreno tenga poca resistencia o no pueda compactar bien.

- c. Hay una armadura en la parte superior de la losa y otra en la parte inferior que estarán separadas 14 cm una de otra como mínimo (podría ser algo mas por ejemplo 15 cm).
- d. Las barras deben llevar un doble de 90° (le llamamos “garrota”) en el extremo que esté en el borde de la losa. La longitud de la garrota es 14 cm,
- e. La losa tiene 25 cm de grosor distribuidas en: 14 cm de separación 1,5 cm de una armadura y, 1,5 cm de la otra, junto con 4 cm de hormigón de la losa inferior y 4 cm de hormigón de la superior.
- f. Habrá que emplear barras de 11 m 11,28 teniendo en cuenta las dos garrotas de los extremos y de 7 m (7,28 por la misma razón). Se pondrá transportar en contenedores de 12 m de largo las barras completas fácilmente.

Toda la estructura se puede ver con detalle en los planos.

2. El hormigón de limpieza, como mínimo debe tener 5 cm de espesor, siendo suficiente. Un máximo de de 10 cm también servirá para nivelación y permitirá tener una superficie nivelada sobre la que encofrar y armar bien la losa. Es muy importante que esté bien nivelado, lo conseguirá colocando unas tablillas alrededor, comprobando con cuerdas que en donde esta penetre menos haya 5 cm y en el resto lo que penetre, cuanto menos “derecha” (nivelada en las dos direcciones) esté la excavación, mas hormigón gastarás .El hormigón que puedes utilizar es el H15.

3. El muro perimetral del depósito no es de hormigón, es de ladrillo cerámico macizo de 1 pie de espesor (aprox. 30 cm.) colocado con su lado mas largo, perpendicular a la dirección del muro, apoyados en una de sus caras mayores. El mortero con el que se “toman” los ladrillos no debe tener mas de 1,5 cm. de “llaga” (espesor del mortero, ya fraguado que queda entre dos hiladas de ladrillo) y si los ladrillos están “aligerados” (tienen taladros) estos deben estar completamente rellenos con el mortero que se use.

- g. El muro, en este caso, no tiene que ser trapezoidal, es un muro recto normal, el empuje, si lo hubiera, lo soporta el terreno, esta es una de las causas por las que debemos enterrar el depósito .
- h. Los pilares también son de ladrillos, en el boceto están dibujados de un pie y $\frac{1}{2}$ pero podemos hacerlos también de un pie, el pilar sería entonces de 30 x 30 cm. Al ser de ladrillo no es necesario reforzar la losa para el arranque de estos pilares de ladrillos simplemente replantearlos en su sitio y construirlos.

4. Una vez construido el muro y los pilares, deben recubrirse con un mortero de acabado, enfoscado de entre 1,5 y 3 cm. de espesor hermético al agua para evitar filtraciones. Después se encala, como mínimo tres manos de cal, usándose cal vulgar.
5. En el lado exterior del muro también hay que enfoscar con el mismo mortero por lo que la excavación inicial debe permitir que un hombre trabaje en la parte inferior desde fuera. Esto garantiza que no entra nada desde el exterior aunque el terreno se encharque.
6. Como solución final para la impermeabilización interior podría colocar, una o dos capas de plástico agrícola (el que se utiliza para techo de invernadero). Lo más adecuado sería revestir las paredes de de sika, pero al ser muy costoso se optarán por proveerse de este plástico agrícola, pudiendo utilizarlo de recubrimiento en el caso de que haya alguna fuga. Si se presentara una filtración no aceptable, se fijará en el interior clavándolo a la pared a la altura de las ventanas de ventilación, actuando así las ventanas de rebosadero si por cualquier causa el depósito se llena en exceso por lo que es seguro que nunca habrá agua por encima de esta cota.
7. Se construirá dos pilares que reducirán la necesidad de colocar una viga de 11 m pudiendola sustituir por tres vigas de 4 m. de largo cada una en todas las posiciones la cubierta. Debe tener una escotilla para que quepa un hombre para poder entrar a limpiar una vez cada seis meses y como mínimo una vez al año. El encalado que se ha mencionado anteriormente debe alcanzar también la parte interior de la cubierta para su desinfección y a la exterior para que la superficie blanca resultante disminuya la evaporación. La limpieza siempre termina con dos manos de cal al interior y al exterior.

5.2.6.3. Proceso de trabajo

1. Excavar el agujero. Es muy pesado sacar la tierra excavada a mano de un hoyo de 2 m o, por lo que se hará de la siguiente forma:
 - Se elige el lado por el que se pondrán las tuberías de suministro a las fuentes y la del vaciado para limpieza.
 - Partiendo del centro, del depósito se excava una zanja en la dirección por la que saldrá el agua para el suministro, la zanja se profundiza alejándonos del depósito, como el terreno está en pendiente el escombros se saca con cualquier carretilla, la zanja será tan ancha como necesaria para que la carretilla circule bien por el fondo.

Cuanto más se profundiza, la zanja se va alargando de manera que un extremo es el depósito y el otro acaba en la ladera si hay poca pendiente la zanja será larga. Así si hay poca pendiente será larga, y si hay más pendiente será más corta.

- Es imprescindible excavar la zanja en cualquier caso porque es necesaria para la tubería de gravedad que se usará para el suministro y que comenzará prácticamente en el fondo del depósito. Junto a ella se coloca la de vaciado para la limpieza del depósito.
- El extremo situado en el centro del depósito se va ensanchando y con la carretilla se saca el escombros por la zanja, cuando el agujero supera el tamaño del depósito más 1 m por cada lado está ya preparado.
- Ahora tenemos una excavación rectangular de 1,5 m de profundidad que tiene en uno de sus lados una zanja que, al haberse realizado a la misma cota que el fondo de la excavación principal, termina a la cota del terreno, en algún punto de la ladera. A través de la zanja introduciremos todo lo necesario para construir el fondo del depósito y en ella colocaremos finalmente las tuberías ya mencionadas, el tubo de salida para el suministro que también se colocará en esta zanja. Al final de esta zanja se continúa haciendo otra zanja para la distribución hasta las fuentes. Una profundidad de 80 cm es necesaria porque la temperatura media de 30 °C calentaría el agua en el tubo si esta muy próximo a la superficie y deteriora el material de los tubos.
- En ese punto final de la zanja del depósito se construirá una arqueta donde se coloca la válvula principal del suministro y el final del tubo de vaciado con la brida ciega para la limpieza de fondos.

3. Echar el hormigón de limpieza y nivelarlo. Esperar más de 24 horas, para trabajar sobre él.

4. Colocar el hierro encofrar y verter el hormigón de la losa. Esperar como mínimo 4 días, siendo mejor 7 días, que es cuando el hormigón alcanza el 40% de su dureza. Si no es época de lluvia, es necesario mantener húmedo el hormigón todo el tiempo regándolo, ya que a 30 °C de media la pérdida de agua por evaporación impedirá el fraguado correcto y la losa se agrietaría de forma irreversible. No importa encharcarlo, el exceso de agua no afecta el fraguado. Si es época de lluvia el agujero no se llenará de agua porque escapará por la zanja construida y seguirá ladera abajo. A partir del séptimo día el riego es menos crítico y a los veintiún días deja de ser necesario. Si la temperatura se acerca o pasa de 40 °C lo mejor sería inundar la losa, una hora o dos después del vertido y mantenerla encharcada.

5. Se construyen las paredes (según lo explicado en el apartado 5.2.6.2)

6. Construcción de la cubierta: La chapa de aluminio no resiste el cloro libre que sin duda llenará el aire de la parte alta del tanque por encima de la superficie libre del agua (este cloro libre es muy conveniente ya que elimina cualquier desarrollo biológico que se inicie en esa zona, donde hay aire caliente y húmedo). Se colocará la cubierta inclinada sobre uno de los lados cortos la cubierta sobre uno de los lados cortos, sellándola alrededor para evitar pequeñas aperturas que pudieran quedar, se usará capa ondulada ondulada, que puede aplicarse con mortero de cemento, o de cal.

5.2.6.4. Normas de la limpieza del depósito

Los depósitos reguladores de agua de abastecimiento público deben limpiarse como mínimo una vez al año. Antes de comenzar la limpieza se interrumpirá el funcionamiento del aparato clorador de agua, si el depósito es de un solo compartimento.

1. Se vacía totalmente el depósito y suministrar agua directamente a la red de abastecimiento desde la tubería de entrada al depósito, en tanto se realiza la limpieza.
2. Retirar los lodos que se hayan formado en el fondo del depósito
3. Limpiar el depósito con agua a presión e hipoclorito (lejía sin detergentes en su composición y (apta para su uso en la desinfección de aguas de consumo) o bien con un cepillo duro e hipoclorito y si es necesario, reparar las paredes. No es conveniente usar lejía pura si no se adoptan medidas de protección personal (mascarillas) pues se puede formar una atmósfera tóxica dentro del depósito.
4. Dejar actuar la lejía en las paredes del depósito durante unas cuatro horas.

6. Proceder al llenado del depósito, añadiendo una dosis de cloro algo superior a la habitual (aproximadamente 1 ppm= 1mg/L).
7. Proceder a la reparación, limpieza y encalado de las paredes de la cámara de llaves del depósito y al pintado de las tuberías de agua.
8. Colocar o revisar las redes mosquiteras finas de las ventilaciones del depósito y las protecciones de los desagües, a fin de que no accedan pequeños animales al interior del depósito.
9. Por último, a ser posible, tomar una muestra de agua del depósito para su análisis, dentro de los cinco días siguientes a la realización de la limpieza, a fin de conocer la calidad del agua suministrada.

5.2.7. Desinfección

En el depósito se instalará un mecanismo para que se apliquen la dosis necesaria para la desinfección del agua. Esta fase se realiza al final del proceso para evitar pérdidas de cloro por evaporación. Los cloradores deberían estar próximos al lado por el que llega el agua y lejos del extremo por donde sale.

El elemento básico del dosificador es un tubo de PVC con uno o más orificios. El tubo se fija a un dispositivo flotante y el orificio debe colocarse algunos centímetros debajo del nivel de la solución. La solución ingresa al tubo y fluye a la tasa deseada de alimentación hacia el punto de aplicación (puede verse un esquema en la figura 18). Una ventaja de este tipo de hipoclorador es que no se corroe, debido a que está hecho de tubería plástica, además no hay válvulas que se descompongan y se limpian fácilmente las obstrucciones producidas por depósitos de calcio o magnesio. La tasa de dosificación se puede ajustar fácilmente con tan sólo cambiar la profundidad de inmersión de los orificios. Cuando se diseña, instala y mantiene adecuadamente, este tipo de clorador ha demostrado ser exacto y fiable.

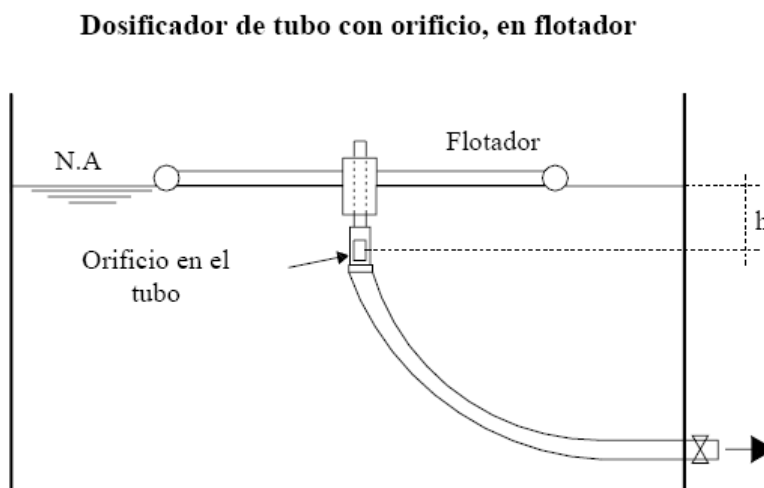


Figura 19. Plano del dosificador.

5.2.7.1. Instalación y requerimientos de instalación

Este sistema debe construirse con materiales que resistan la corrosión de una solución fuerte de hipoclorito. El tanque de solución puede ser de polietileno de alta densidad (PEHD) o de, fibra de vidrio. El flotador puede hacerse con PVC o madera. No deben usarse aluminio, acero, cobre ni acero inoxidable porque se destruyen rápidamente. Este equipo es sencillo de instalar, como todos los equipos de carga constante. Su aplicación está limitada a aquellos casos en que la solución de hipoclorito puede fluir por gravedad hacia el sitio de mezcla, ya sea un canal, una cámara de contacto de cloro o directamente hacia un tanque de almacenamiento. La instalación debe incorporar un intervalo de aire en la tubería de descarga para evitar la posibilidad de sifonaje. También debe estar diseñado de modo que se excluya la posibilidad de que el contenido del tanque de solución se descargue todo de una vez accidentalmente en el canal de mezcla o la cámara de contacto si se rompe un accesorio o tubería o si ocurre otro tipo de derrame. El diseño de la instalación debe facilitar el manejo de los compuestos de cloro, la mezcla de soluciones y el ajuste de la dosificación. Se colocará un grifo de agua en un lugar conveniente para facilitar la preparación de las soluciones madre y para el aseo general.

5.2.7.2. Operación y mantenimiento

Estos equipos son fáciles de operar, mantener y reparar, y no requieren operadores especializados. Y podrán capacitarse fácilmente en poco tiempo. Sin embargo, requiere vigilancia constante para cerciorarse de que el equipo, en particular el de orificio sumergido, se mantenga limpio, que la dosificación sea la adecuada, que la solución del tanque no se haya agotado o debilitado su concentración, que no haya cambio de caudal, etc. Por ello se deberá limpiar periódicamente y usar un filtro para retener el material particulado



Figura 20. Foto de un dosificador real.

La preparación manual de la solución de hipoclorito se tiene que hacer con mucho cuidado. Cuando se usa hipoclorito de calcio, la concentración de la solución debe ser entre 1% y 3% de cloro disponible para impedir la formación excesiva de depósitos y sedimentos de calcio. Las soluciones de hipoclorito de sodio pueden ser hasta de 10%. Las concentraciones mayores no son aconsejables porque pierden potencia rápidamente y si son muy altas se pueden cristalizar.

5.2.7.3. Cálculo de la dosis del cloro y del PH

La dosificación de cloro líquido (ClONa), para agua potable con contenidos de TDS (Total Sólidos Disueltos) entre 80 a 200 ppm es de 15 ml a 20 ml por metro cúbico de agua, obteniéndose un residual entre 0.5 a 1.5 ppm. Este residual en este tipo de agua varía dependiendo de las condiciones climáticas, básicamente por la temperatura, ya que el cloro se volatiliza muy fácilmente. En aguas con contenidos de tds o minerales más altos debido a durezas, hierro, Mn, etc, el cloro tiende a reaccionar con ellos y su residual va a ser menor. Cuando hay mucha contaminación de parásitos hay un consumo mas alto de éste, y el cloro residual disminuye más con estas dosificaciones.

El procedimiento siguiente sirve para calcular la dosis para cualquier agua se vaya a potabilizar.

- 1.- Toma tres muestra cada de 25 L. simultáneamente.
- 2.- Realiza un análisis físico químico y bacteriológico de una muestra.
- 3.- De acuerdo a la relación 15 a 20 ml por 1000 L de agua, con la muestra de 25 L. y se aplica una dosis de 0,5 L. de cloro líquido.
- 4.- Se determina el cloro residual a distintos tiempos (5min, 15min, 30 min, 45min, 60min, 120min)
- 5.- El paso anterior se realiza con las diferentes dosis de 0,1l, 0,2l, 0,4l, 0,5l, con distintas dosificaciones de cloro de acuerdo a la relación dada anteriormente.
- 6.- En las muestras que se obtenga cloro residual entre 0.5 a 1.5 ppm que es 0,01 ml a 0,1ml, después de 2 horas de ensayos, se realiza un segundo análisis bacteriológico para determinar su eficiencia.
- 7.- Se llevarán una relación de todos los datos en bitácora y se determinará la cantidad exacta que será necesario añadir por metro cúbico.
- 8.- Se determinará la contaminación del agua a tratar (río Tonón) se comparará con la del depósito de agua, ya que a veces este es la causa de la contaminación.

5.2.8. Distribución

Esta parte del proyecto comprende tanto la distribución desde el depósito a las fuentes como la construcción de las mismas.

La distribución de las fuentes se ha realizado con el criterio de la densidad poblacional. Los puntos exactos de su ubicación se decidieron con el “comité del agua”, creado por las autoridades locales. Las fuentes dan servicio a un máximo de 180 personas por fuente y día. El caudal de cada fuente es de 0,42 L/sg, (una garrafa de 25 L. se llena en un minuto que es el tipo de recipiente más común y más grande, el otro tipo de recipiente que se utiliza mucho tiene una capacidad de 18 L). Con este caudal se evita que se formen grandes colas en las fuentes reduciendo los tiempos de espera.

Los sistemas de abastecimiento de Todomé y Apéyémé tienen en común todas las partes menos la red de distribución de las fuentes, se realizará por tuberías independientes.

El paso de la tubería principal a las tuberías secundarias se realiza en las cajas de conexión. Es en estas cajas se encuentran las válvulas de paso para cortar el suministro en caso de reparación y los contadores de cada ramal que permitirán controlar el consumo de cada zona.

Las tuberías van enterradas a unos 50 cm. Se colocarán dos o tres capas (según corresponda) de arena de 5-10 cm; una de ellas en el fondo de la zanja antes de colocar la tubería. Se compactará por apisonamiento y se rellenarán las zanjas con tierra homogénea extraída de la excavación.

En el momento de realizar el apisonamiento se fijará con unas estacas (o similar) la tubería a fin de evitar que tienda a levantarse.

En el punto en el que la tubería se pase frente a una fuente se colocará una T cortando el tubo de PVC si es necesario al final de cada ramal “sin salida” se colocará un tapón.

De los cálculos hidráulicos realizados se puede concluir que:

- Se asegura una presión en los puntos de consumo comprendida entre 7 y 28.8 m.c.a.
- Las velocidades máximas no son superiores a 3.1 m/s en ningún tramo de la red de distribución.
- Para el cálculo del sistema de todas las instalaciones se ha utilizado el software de sistemas de distribución de agua, creado por la universidad de Valencia, el programa se llama EPANET descrito en los antecedentes. Con él se va a analizar la presión y la velocidad, con el objetivo de buscar el diámetro y el timbraje más apropiado de las tuberías.
- El agua se distribuye por gravedad desde el depósito hasta las fuentes, donde los habitantes la recogen para el consumo propio. Lo más importante de los sistemas por gravedad, es que den suficiente presión para que el agua llegue a las fuentes con caudal.
- A continuación, se puede ver el plano de toda la distribución de fuentes de Apéyémé en la figura 21. Las coordenadas para la orientación de las fuentes se han obtenido de la información del GPS. Las fuentes se denominan con la letra F y el sistema se divide en dos partes, el primer número corresponde a la parte del sistema en la población de Apéyémé el segundo número se refiere a la fuente dentro de cada parte del sistema, por ejemplo F 2.14.

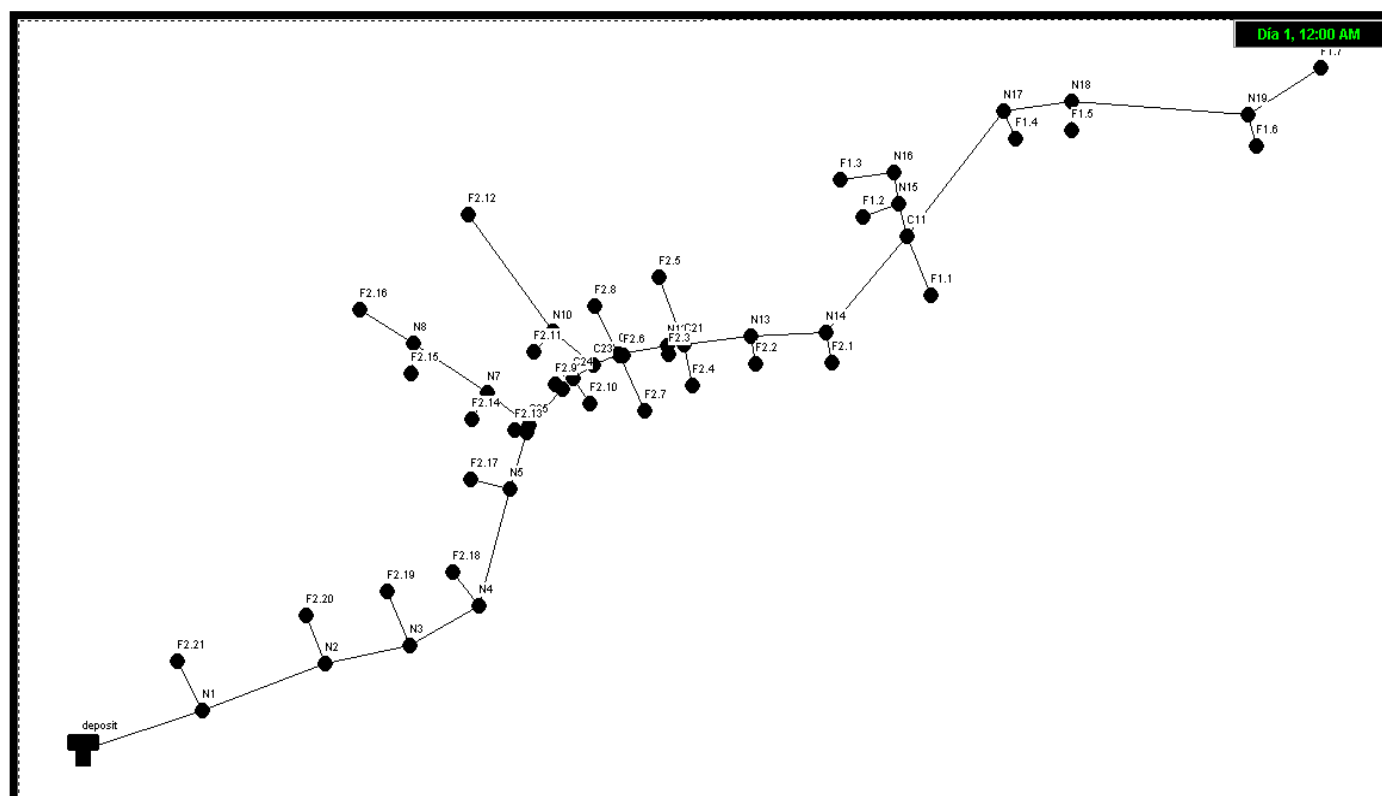


Figura 21. Plano de las fuentes de Apéyémé.

En la tabla que se expone a continuación se puede ver el caudal, la longitud, diámetro y velocidad que hay en cada tramo de tubería, entre fuentes o entre puntos de derivación.

ID Línea	Longitud(m)	Diámetro(mm)	CaudalLPS	Velocidad m/s
Tubería TP4	135	153.6	10.28	0.55
Tubería TP5	185	153.6	9.86	0.53
Tubería TP6	90	153.6	9.44	0.51
Tubería TP7	15	153.6	9.02	0.49
Tubería C25.1	100	105.6	1.26	0.14
Tubería TP8	80	153.6	7.76	0.42
Tubería TP9	26	153.6	7.56	0.41
Tubería T2.10	50	86.4	0.42	0.07
Tubería TP10	45	153.6	7.14	0.39
Tubería C23.1	90	86.4	0.84	0.14
Tubería TP11	45	153.6	6.30	0.34
Tubería TP12	85	153.6	5.04	0.27
Tubería TP13	30	153.6	4.62	0.25
Tubería TP14	110	134.4	3.78	0.27
Tubería T2.5	110	86.4	0.42	0.07
Tubería C25.2	140	86.4	0.84	0.14
Tubería C25.3	100	86.4	0.42	0.07
Tubería T2.4	70	86.4	0.42	0.07
Tubería TP15	125	134.4	3.36	0.24
Tubería TP16	200	134.4	2.94	0.21
Tubería TP17	240	105.6	1.68	0.19
Tubería TP18	110	86.4	1.26	0.21
Tubería T21	285	86.4	0.84	0.14
Tubería T1.7	140	86.4	0.42	0.07

Tubería C11.1	45	86.4	-0.84	0.14
Tubería T1.1	47.2	86.4	0.42	0.07
Tubería C23.2	230	86.4	0.42	0.07
Tubería TP2	200	153.6	11.12	0.60
Tubería TP3	125	153.6	10.70	0.58
Tubería T2.21	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.20	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.19	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.18	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.17	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.14	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.13	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.11	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.6	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.3	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.2	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.1	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T1.2	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T1.5	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T1.6	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.15	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T2.9	2	29.6	0.20	0.29
Tubería TP1	100	153.6	11.54	0.62
Tubería T1.4	2	29.6	0.42	0.61
Tubería T1.3	100	86.4	0.42	0.07
Tubería C11.2	100	105.4	0.42	0.05
Tubería T2.8	75	86.4	0.42	0.07
Tubería C22.1	105.6	86.4	0.84	0.14
Tubería T2.7	105.4	86.4	0.42	0.07

Tabla 11. Diferentes tramos de tubería de Apéyémé.

Las largas distancias han llevado a utilizar diámetros de tuberías en la red principal de 160 mm, con el objetivo de disminuir las pérdidas de carga, para que llegue suficiente presión a las fuentes.

Las velocidades como se ha explicado en los antecedentes son muy importantes para el buen funcionamiento de la instalación. Debe haber la mayor homogeneidad en todo la distribución para evitar la recirculación del agua dentro de las tuberías y con ello conseguir que el agua llegue a las fuentes con un caudal de 0,42 L/s y una presión como mínimo de 0,5 atm. Las velocidades deben estar comprendidas entre 0,4 m/s para que no haya deposición de sedimentos, pero (de cualquier forma al ser agua potable las deposiciones son muy leves). La máxima velocidad que debe alcanzar el fluido en una instalación de agua potable son 2 m/s, porque si no la instalación tiene peligro de deteriorarse muy rápido.

En el siguiente gráfico se expone las presiones del sistema en la situación en que todas las fuentes se encuentren abiertas al mismo tiempo, es el momento en que el gasto de agua es máximo.

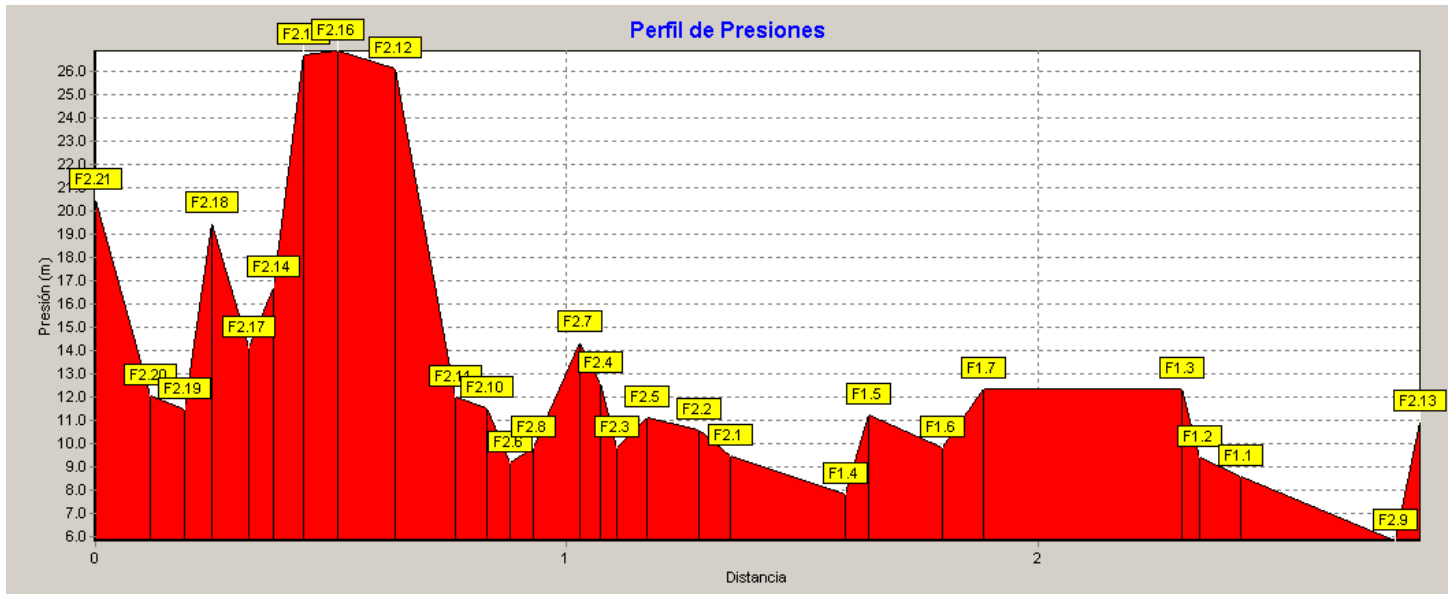
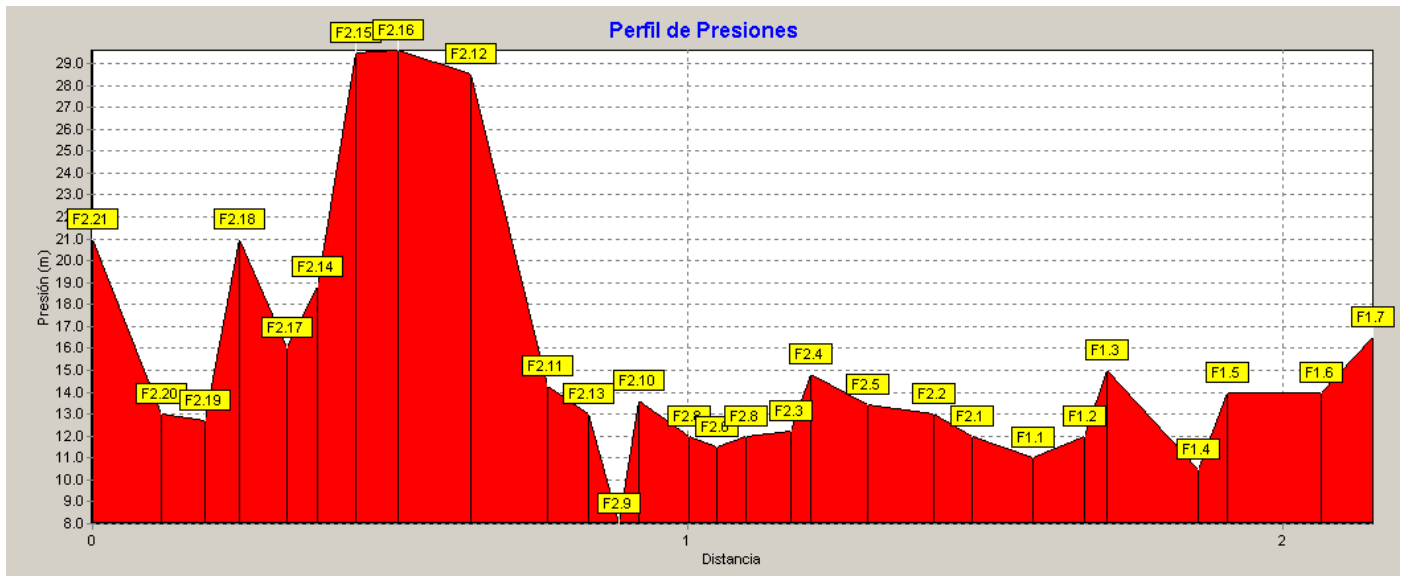


Figura 22. Diagrama de presiones, sistema abierto.

En la gráfica (figura 22) observamos que la presión más baja es de 6 m.c.a = 0,6 atm de la fuente F2.9. en un grifo de una vivienda llega una presión de 10 m.c.a = 1 atm, en principio no sería un problema a tener en cuenta ya que esta sería la situación más desfavorable y es poco probable que todas las fuentes estén abiertas a la vez, pero como se puede observar incluso en estas condiciones se garantiza el suministro. Ya que como se ve, en el resto de las fuentes las presiones son suficientes para dar un servicio óptimo.

En este otro gráfico (figura 23) preguntan las presiones máximas que soporta el sistema, que se obtienen cuando todas fuentes se encuentran cerradas y la válvula que regula la salida del



depósito abierta

Figura 23. Diagrama de presiones, sistema cerrado.

En la gráfica (figura 23) las máximas presiones no superan los 30 m.c.a, (que son 3 atm) en la situación con mas presión que se puede dar en la distribución, con estas condiciones, las más desfavorables posibles para el sistema se selecciona el timbraje de las tuberías, que en este caso será un timbraje de 4 atm y que aguantaría la máxima presión de nuestro sistema.

En la siguiente tabla se enumeran todos los materiales que se van a utilizar en la distribución.

Artículos	UNIDADES	LONGITUD(m)
TEE RED.C-10 160x110	20	
TEE PVC C-10 140x140	4	
TEE RED.C-10 75x63	4	
TEE RED.C-10 50x32	4	
TEE PVC C-10 32x32m.	10	
TEE PVC C-10 90x32m.	20	
TUBO 32		50
TUBO 90		1650
TUBO110		550
TUBO 140		1300
TUBO160		1250
TEE RED.C-10 110x63	20	
RED.CORTA C-10 110x90	8	
RED.CORTA C-10 90x75	10	
RED.CORTA C-10 75x50	10	
RED.CORTA C-10 50x32	10	
RED.CORTA C-10 90x63	10	
RED.CORTA C-10 63x32	25	
RED.CORTA C-10 75x63	8	
RED.CORTA C-10 63x32	30	
CODO PVC C-10 110x90	6	
Válvulas de compuerta	10	
28 fuentes		
CODO C-10 HI 32x1"	60	
Contadores	30	
Válvulas de compuerta	30	

Tabla 12. Los diferentes productos utilizados en la conducción.

Se va hacer el mismo estudio con el sistema de distribución de Todomé.

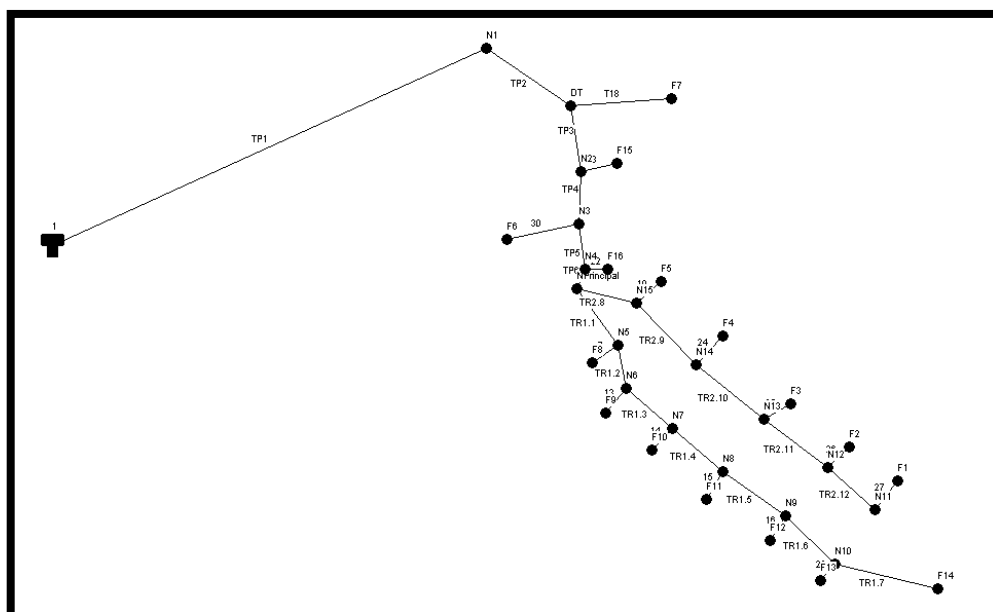


Figura 24. Plano de la distribución de Todomé

En el sistema de Todomé se utilizan diámetros más pequeños, de 110 mm, porque al tener más diferencia de altura manométrica con las fuentes el agua tiene más presión, las pérdidas de carga influyen menos en el agua circulante. Las pérdidas de carga sólo dependen del material de la tubería, del diámetro del tubo, y del líquido que circule. La presión, la velocidad y el diámetro dependen de las pérdidas de carga.

ID Línea	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal LPS	Velocidad (m/s)
Tubería TP1	900	105.6	6.72	0.77
Tubería 3	2	29.6	0.42	0.61
Tubería TR1.1	100	86.4	2.94	0.50
Tubería 7	2	29.6	0.42	0.61
Tubería TR1.2	100	86.4	2.52	0.43
Tubería TR1.3	100	86.4	2.10	0.36
Tubería TR1.4	100	86.4	1.68	0.29
Tubería TR1.5	100	71.4	1.26	0.31
Tubería TR1.6	100	59.8	0.84	0.30
Tubería 13	2	29.6	0.42	0.61
Tubería 14	2	29.6	0.42	0.61
Tubería 15	2	29.6	0.42	0.61
Tubería 16	2	29.6	0.42	0.61
Tubería TR2.8	90	86.4	2.10	0.36
Tubería 19	2	29.6	0.42	0.61
Tubería TR2.9	140	86.4	1.68	0.29
Tubería TR2.10	150	71.4	1.26	0.31
Tubería TR2.11	120	71.4	0.84	0.21
Tubería TR2.12	120	59.8	0.42	0.15
Tubería 24	2	29.6	0.42	0.61
Tubería 25	2	29.6	0.42	0.61
Tubería 26	2	29.6	0.42	0.61
Tubería 27	2	29.6	0.42	0.61
Tubería TP4	75	86.4	5.88	1.00
Tubería 30	120	86.4	0.42	0.07
Tubería TP2	225	105.6	6.72	0.77
Tubería TP3	85	105.6	-6.30	0.72
Tubería T18	150	59.8	0.42	0.15
Tubería TP5	75	86.4	5.46	0.93
Tubería TP6	50	86.4	5.04	0.86
Tubería TR1.7	170	59.8	0.42	0.15
Tubería 22	100	86.4	0.42	0.07
Tubería 28	2	29.6	0.42	0.61

Tabla 13. Diferentes tramos de tubería de Todomé.

Los caudales para Todomé también son de 0,42 L/sg.

Las velocidades en este sistema se encuentran comprendidas entre 0,42 m/sg y 1,2 m/sg. Estas velocidades se encuentran dentro del intervalo de 0,4m/sg y 2m/sg que garantizan una conservación de las instalaciones.

A continuación se presenta el gráfico de las presiones en el momento que todas las fuentes están abiertas (figura 24). La máxima presión que hay, es en la F.1 de 28 m.c.a, de 1,8 atm.

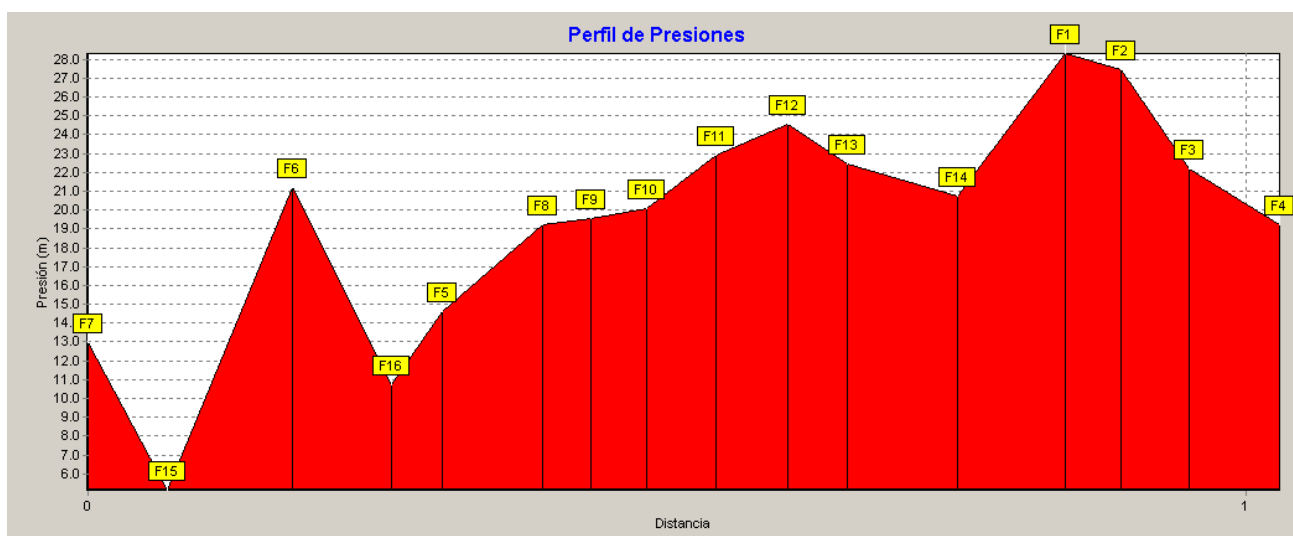


Figura 26. Diagrama de presiones Todomé, Sistema abierto.

El siguiente gráfico es de las presiones cuando todas las fuentes están cerradas.

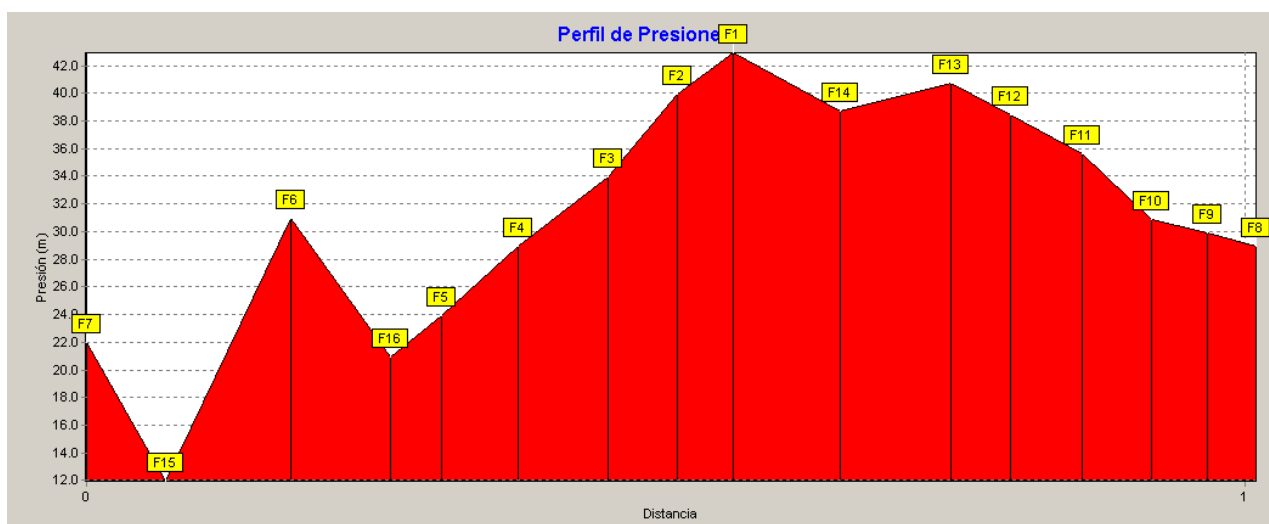


Figura 27. Diagrama de presiones de Todomé, sistema cerrado.

En la gráfica de presiones (figura 26) las máximas presiones no pasan de 42 m.c.a, que son 4,2 atm, que será la situación con mas presión que se puede dar en la distribución, con las

condiciones más desfavorables en la que se selecciona el timbraje de las tuberías y en este caso escogeremos un timbraje de 6 atm que aguantaría la máxima presión de nuestro sistema.

En la tabla que se adjunta a continuación está el inventario de todo el material necesario para la distribución.

Artículos	UNIDADES	LONGITUD(m)
TUBO 32 mm		35
TUBO 65 mm		500
TUBO 75 mm		400
TUBO 90 mm		1100
TUBO 110mm		1250
CODO PVC C-10 110x90	2	
TEE RED.C-10 110x63	4	
TEE RED.C-10 90x63	4	
TEE PVC C-10 90x90m.	2	
TEE RED.C-10 75x63	10	
TEE RED.C-10 63x50	8	
TEE RED.C-10 50x32	8	
TEE PVC C-10 32x32m.	5	
RED.CORTA C-10 110x90	8	
RED.CORTA C-10 90x75	6	
RED.CORTA C-10 75x50	6	
RED.CORTA C-10 50x32	6	
RED.CORTA C-10 90x63	4	
RED.CORTA C-10 63x32	20	
RED.CORTA C-10 75x63	4	
16 fuentes		
CODO C-10 HI 32x1	40	
contadores	20	
Válvulas de compuerta	20	

Tabla 14. Los diferentes productos utilizados en la conducción.

5.2.8.1. La fuente

Se a utilizar el mismo modelo de fuente que se ha empleado en el sistema del pueblo de Atigba. Estas fuentes tienen un grifo a media altura para llenar los bidones de 25 L. que son muy utilizados. En la parte de arriba de la fuente tienen una salida de agua para que las personas que vienen a llenar los recipientes abiertos no tengan que hacer el esfuerzo de bajar y subir a la cabeza el contenedor lleno de agua. Expongo una foto de cada uno de los recipientes más utilizados.

Las fuentes se conectarán a partir de las tes colocadas en los ramales. En ese punto se ejecutará una caja con una válvula de globo y un contador. Esto servirá para establecer el consumo de esa fuente.

Los diagramas para la construcción de las fuentes se pueden ver en los planos.

5.2.8.2. El mantenimiento

La operación del sistema de distribución consiste en una supervisión de las válvulas del sistema, de todas las tuberías hasta llegar a las fuentes incluidas estas. El mantenimiento propio del sistema de distribución, reparación de las averías y limpieza de los tanques.

6. CRONOGRAMA

En este apartado se va a describir la cronología de las diferentes actividades que se van a llevar acabo en la ejecución del proyecto.

Se comenzará la ejecución del proyecto por la captación, que incluye la canalización de la derivación, los filtros físicos y el depósito de los filtros. Tiempo estimado de realización: son 4 semanas.

El tiempo estimado de construcción de la caseta, instalación de la bomba y curso de formación para los encargados de mantenimiento de la misma será de entre 3 y 4 semanas

No se utilizará maquinaria para la excavación de las zanjas; por lo que al ser un trabajo manual el tiempo estimado de realización por personal no cualificado será de 4 semanas y el periodo de colocación de la tubería está estimado en 1 semana.

El tiempo estimado para la excavación de zanjas y posterior colocación de las tuberías es de 6 semanas. La longitud de tubería necesaria es de 2,3 Km. La tubería irá enterrada a 0,50 m bajo el suelo para evitar roturas, por lo que será necesaria la excavación de una zanja con unas dimensiones de 2300 m de longitud 0,3 m de ancho y 0,5 m de profundidad. Entre la zanja y la tubería irá una cama de arena para evitar daños en la tubería.

La construcción de las 28 fuentes se realizará en 6 semanas por personal cualificado. Simultáneamente con todas las partes del sistema se realizará la formación del personal necesario para el mantenimiento y para la correcta gestión del sistema.

Toda la obra se realizará en la época seca (que comprende desde mediados del mes de Noviembre hasta principios del mes de Abril) de 2008/09, ya que en temporada de lluvias se complican enormemente los trabajos en el lecho del río y el de zanjeado. A continuación se expone el cronograma que se va a seguir en el desarrollo de la obra.

Tabla 15: Cronograma

- Tres técnicos de apoyo desde Madrid: IROKO DFS.

- Un jefe de obra y personal cualificado: Empresa togolesa por determinar (se han iniciado conversaciones con tres de ellas).

108

7. GESTIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

A la hora de pensar en la gestión del sistema, se ha de tener en cuenta que éste va a constar de dos etapas diferenciadas: el período de construcción del sistema y el período de explotación del mismo. En el caso que ocupa esta memoria las comunidades pertenecen a dos municipios diferentes:

Para que un proyecto de estas dimensiones se ejecute, ha de existir una base organizativa en toda la comunidad muy fuerte, ya que requiere de un gran esfuerzo por parte de todos los futuros usuarios del sistema.

Una comunidad se organiza bajo una Junta Directiva escogida en asamblea por toda la comunidad. La Junta Directiva, para tener legalidad, ha de estar aprobada por el jefe ancestral y los notables del pueblo.

7.2. Operación y Mantenimiento de las infraestructuras

Para la operación y mantenimiento de las infraestructuras del sistema de agua potable se va a requerir como mínimo a tres fontaneros y dos mecánicos. Se intentará que estas personas se impliquen en el proyecto desde el inicio de la construcción para que se familiaricen y conozcan a la perfección el sistema. Estos fontaneros van a tener la función de trabajar en el mantenimiento de la distribución y los mecánicos en el sistema de impulsión. En cada fuente habrá una persona encargada de abrir y cerrar la fuente y cobrar el agua, a estos trabajadores se les dará el sueldo que corresponda a media jornada laboral. Se contratará a una persona en Apéyémé y a otra en Todomé que tomarán la información de cada contador. Se ha calculado que para las personas con jornada completa tendrán un sueldo de 30000 cfa, al cambio son 45 €.

Para hacer frente a los gastos fijos de la instalación, material, combustible, mano de obra, se va a cobrar por el agua 15 cfa por 25 L. de agua, son 0,02 céntimos de euro.

Las decisiones definitivas para la gestión del sistema las tomarán las personas que forman el comité de agua potable junto con el jefe ancestral, las asociaciones del pueblo y el prefecto

7.3. Comité de Agua

Los representantes de la Junta Directiva del Comité de Agua son elegidos por lo notables y los miembros de las contrapartes con las que se trabaja. El proyecto de Agua se debe regir con un Reglamento Interno. Dicho reglamento ha de contemplar:

- Establecimiento de la cuota y normativa de la tesorería (multas por retraso, altas y bajas...)
- Función del Comité de Agua.
- Funcionamiento del Sistema de Agua
- Todo aquello que en asamblea se quiera incorporar.

En el Comité de Agua existe la estructura de la Junta de Vigilancia y la Junta Directiva. La Junta Directiva es la que tiene las obligaciones y funciones de la Gestión del Proyecto. La junta de Vigilancia es una auditoria interna de la gestión del proyecto. Debe velar por la transparencia del sistema.

7.3.1. Funciones y obligaciones del Comité de Agua

Funciones

- Fomentar la utilización del uso adecuado del agua
- Velar por la limpieza y protección de las fuentes, depósitos y otros elementos del sistema, con el fin de conservarlos y evitar contaminaciones.
- Recaudar las cuotas mensuales por el servicio.
- Aprobar o desaprobar las nuevas solicitudes de incorporación al sistema, así como definir las cuotas de conexión una vez esté en funcionamiento el sistema
- Elaborar y presentar a la Asamblea de Usuarios la propuesta de tarifas a cobrar por el servicio de agua, así como sus revisiones
- Llevar un registro de los días trabajados por cada usuario, mientras participaron en la construcción del sistema como mano de obra. Además, llevar un registro de los usuarios que pagaron su cuota de conexión domiciliaria previa a la entrada en funcionamiento del sistema.

- Disponer de los libros de cuentas y registros actualizados.
- Hacer traspaso de todos los documentos al nuevo Comité, cuando éste haya quedado legalmente establecido. Además, el Comité saliente deberá asesorar en la administración y mantenimiento del sistema al nuevo Comité.
- Interlocución con entes públicos y privados como ONG's, etc

Obligaciones.

- Administrar eficientemente el sistema de agua, así como los recursos para su funcionamiento.
- Proponer candidatos/as para desempeñar el empleo de fontaneros/as a la Asamblea de Usuarios/as.
- Contratar, evaluar y destituir a los y las fontaneros/as.
- Cumplir y hacer cumplir lo dispuesto en los Estatutos y Reglamento tomando para ello las medidas que se consideren oportunas en consenso con la Junta Directiva y posterior aprobación de la Asamblea de Usuarios
- El Comité del Agua es el responsable de velar por los fondos del sistema de agua.

8. PRESUPUESTO

Los precios considerados corresponden al año 2007. Se ha usado como referencia en el costo de los materiales y de la mano de obra.

El presupuesto se divide en 9 partes, que corresponde con la ejecución e implementación de un proyecto de estas características. En el presupuesto se ha tenido en cuenta todo el sistema. Desde la captación del río, la planta de potabilización, sistema de impulsión, distribución hasta cada una de las comunidades, y las líneas de distribuciones internas en las comunidades. Se ha valorizado la mano de obra, tanto la cualificada como la no cualificada. En la siguiente tabla se da un resumen del presupuesto. En los anexos se pondrá en detalle el presupuesto. (Anexo V).

CAPTACION	150,00 €
TRATAMIENTO FISICO	2.724,00 €
CASETA DE LA MOTOBOMBA	1.346,00 €
DEPOSITO DE 30 m	4.392,50 €
CONDUCCION	44.135,00 €
DEPOSITO DE 150 m3	12.530,00 €
DISTRIBUCION	13.367,50 €
FUENTES	1.379,00 €
MATERIAL DE TRABAJO Y COMBUSTIBLE	5.686,75 €
TOTAL	85.710,75 €

Tabla 16: Resumen del presupuesto.

9. CONCLUSIONES

En este Proyecto de Fin de Carrera, se ha realizado un trabajo de campo durante tres meses en Togo y una posterior sistematización de los conocimientos manejados y adquiridos para la creación de dicho documento y poder diseñar un sistema de abastecimiento de agua para las poblaciones de Apéyémé y Todomé. Las principales conclusiones obtenidas en el trabajo son las siguientes:

- Con este proyecto se pretende que el sistema de abastecimiento de agua pueda ser gestionado por los propios habitantes. Mi trabajo junto con el de Iroko es conseguir este objetivo, para conseguir este cambio de conducta respecto al agua en la población en la que se va a poner en marcha el sistema de abastecimiento de agua potable, será necesario desarrollar técnicas para la participación ciudadana, concienciar a la comunidad de respetar las instalaciones, de mantener las leyes, lo que va a requerir un duro y largo trabajo durante la implementación del sistema y posteriormente.
- Para la realización de este proyecto, teniendo en cuenta la ubicación del proyecto y el grado de desarrollo de la comunidad a la que va dirigido, no se han seleccionado las mejores opciones técnicamente posibles en todos los casos sino las más viables tanto económicamente, por cuestiones de accesibilidad a la consecución de los materiales empleados, como por el nivel de conocimientos técnicos de la población y para poder cumplir la premisa de la autogestión del sistema una vez construido y puesto en marcha.
- El sistema de distribución funcionará por gravedad, a partir de la captación de un río situado en las afueras del pueblo, que suministra agua a las dos poblaciones mediante fuentes comunales.
- Para la toma de decisiones en la planificación del proyecto ha sido muy relevante el censo de poblaciones realizado in situ y toda la información obtenida en campo relacionada.
- En el presente texto, además de detallar los trabajos de campo antes comentados, se incluye una introducción que expone la problemática global del abastecimiento de agua, un marco teórico en el que se presenta la base fundamental para el diseño y cálculo de las instalaciones y una revisión crítica del trabajo de campo realizado. De este modo, se plantea una visión global del problema del agua y sobre el abastecimiento por gravedad. Se ha pretendido, así mismo, que el texto pueda servir

como manual de utilización sobre el terreno para usuarios locales o futuros cooperantes

- La elaboración de este Proyecto de Fin de Carrera ha permitido observar de manera directa, que el trabajo de implantación de sistemas de abastecimiento de agua en comunidades desfavorecidas en PVD (países en vías de desarrollo) tiene una tremenda utilidad ya que contribuye a solventar el problema de la falta de cobertura de algunas de las necesidades más básicas de las personas. Permite mejorar la salud al dotar de agua apta para el consumo humano y favorecer la higiene disminuyendo la tasa de mortalidad en estos países ya que la segunda causa de mortalidad en Togo son las infecciones intestinales provocadas por consumir agua contaminada.
- La implementación de sistemas de abastecimiento de agua permite reducir enormemente el tiempo invertido diariamente para recolectarla de fuentes muchas veces situado a una gran distancia, con el consiguiente derroche de energía. Este tiempo y energía pueden ser reinvertidos en labores más productivas, fundamentalmente en el caso de las mujeres y los niños, que son quienes normalmente se encargan de ir por agua de dichas fuentes.
- La experiencia alcanzada en la realización de este Proyecto de fin de Carrera ha servido como incursión en la realidad del entorno global en el que nos encontramos. Demuestra inmensa cantidad de cosas, tanto materiales como formativas, que damos por sentadas o sabidas y que, en definitiva, nosotros los habitantes de países desarrollados somos de los pocos afortunados habitantes del mundo que disfrutamos de ellas y de los pocos que no vivimos en un país pobre, tercermundista. Ayuda a darse cuenta y a asimilar que la mayor parte del mundo, fuera de nuestro reducido entorno, vive en condiciones drásticamente diferentes e inferiores.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Catalana de Ingeniería Sin Fronteras, Asociación Comunitaria Unida por el Agua y la Agricultura ACUA y otras instituciones salvadoreñas, *Potabilización de Agua de Río en Zonas Rurales y Semi-Urbanas de El Salvador*.
- Banco Mundial, *Indicadores de desarrollo mundial 2005*, Washington D.C.
(www.worldbank.org/)
- Bombas Itur, Datos técnicos de la bomba.
- Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE), *Estrategia de Cooperación Universitaria al Desarrollo*.
(<http://www.ucm.es/cont/descargas/documento2997.pdf>)
- Eladio A, González Fuentes, Megh R. Goyal y Michael J. Boswell, *Capítulo IX Instalación*.
(http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap09instalacionppt.pdf)
- Formación en logística, Agua, Saneamientos e Higiene (FLASH), Desinfección / Cloración de agua potable en emergencias.
(<http://www.eoi.es/nw/publica/default.asp>)
- Cruz Roja, *Operación y Mantenimiento de Sistemas de Agua*.
(http://www.rrasca.org/biblioteca/pci_nicaragua_educativo.pdf)
- George McRobie (Vicepresidente de ITDG Reino Unido), *Tecnología para el desarrollo humano y sostenible*.
(<http://www.uclm.es/profesorado/igarrido/tecnocooperacion/McRobie.pdf>)
- Gómez Galán, Manuel y Sainz oller, Héctor, *El ciclo del Proyecto de Cooperación al Desarrollo*, Cideal 1999.
- Lenntech, *Estándares de la calidad del agua potable*.
(<http://www.lenntech.com/espanol/est%C3%A1ndares-de-calidad-del-agua.htm>)
- Organización Mundial de la Salud (OMS).
(<http://www.who.int/es/>)
- Organización Mundial de la Salud (OMS) y Organización Panamericana de la Salud, *Especificaciones técnicas para la construcción de captaciones especiales*.
(<http://www.cepis.org.pe/tecapro/documentos/agua/172esp-construc-captaesp.pdf>)
- Organización Mundial de la Salud (OMS) y Organización Panamericana de la Salud, *Guía para la instalación de sistemas de desinfección*.
(<http://www.cepis.org.pe/tecapro/documentos/agua/guiainstalsistdesinf.pdf>)
- Oxfam Internacional, *Las causas del hambre: una perspectiva de la crisis alimentaria en África*
(http://www.intermonoxfam.org/UnidadesInformacion/anexos/7692/060724_Africa_Food_Crisis2.pdf)
- República de Togo.
(www.mae.es)

- Salvador Villà, Ignasi, *Abastecimiento de agua a la comunidad de huisisilapa departamento la libertad (el salvador)*.
- Sampedro, José Luis, *El Mercado y la Globalización*, Ediciones Destino, Barcelona, (2002
- Tomillo Gutiérrez, Unai, *Estudio a cerca del empleo de la bomba manual de agua en el ámbito rural en países en vías de desarrollo*, Febrero 2005.
(www.uc3m.es/uc3m/serve/ORI/Cooperación/principal.html).
- Universidad Carlos III Daniel Pons Strigari, *Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua por gravedad para comunidades rurales en países en vías de desarrollo*.
- Ingeniería sin fronteras (ISF). *Día mundial del agua*.
(www.isf.es)

ANEXOS

ANEXOS I

Année 2006

TABLERAU 24 Les 10 premières causes de consultation

N°	MALADIES	NOMBRE DE CAS	POURCENTAGE
1	Paludisme	7891	48,4%
2	Plaies traumatismes	1823	11,1 %
3	IRA	1258	8%
4	Parasitoses intestinales	1212	7,4 %
5	Maladies diarrhéiques	648	4 %
6	Rhumatismes	521	3 %
7	HTA	467	2,8 %
8	IST	387	2,3 %
9	Dermatoses	336	2 %
10	Anémie	148	1 %
	Autres	1599	10%
	Total	16290	100%

Commentaire : le paludisme, les plaies et traumatismes et les infections respiratoires aiguës représentent les trois premières causes de consultations dans le district de Danyi.



ANEXOS II

QUESTIONNAIRE

Note : Ce questionnaire a pour but de collecter des informations pouvant permettre d' avoir une vue plus précise sur la répartition de la population par tranches d' âge. Ceci servira à une évaluation des besoins par habitants pour la planification des projets de développement de l'ONG espagnole IROKO DFS et de ses associations locales partenaires.

Ce questionnaire est beaucoup plus spécifique pour les études préliminaires du projet d'adduction d'eau potable qui est en cours d'études par IROKO et ses partenaires.

Merci d'avance pour votre franche collaboration.

VILLAGE _____ **QUARTIER:** _____

NOM DE

LA FAMILLE: _____ **MAISON :** _____

1. *Combien de personnes vivent dans ta maison ?*

2. *Dans ta maison, Combien y a-t-il d'enfants de 0 à 1 ans ?*

3. *Dans ta maison, Combien y a-t-il d'enfants de 1 à 5 ans ?*

4. *Dans ta maison, Combien y a-t-il d'enfants de 5 à 14 ans ?*

5. *Dans ta maison, combien y a-t-il des femmes adultes de 14 à 44 ans?*

6. *Dans ta maison, combien y a-t-il d'hommes adultes de 20 à 44 ans?*

7. Combien y a-t-il d'adultes ayant plus de 45 ans dans ta maison?

8. Combien d'enfants vont à l'école dans ta maison ?

9. As-tu la lumière dans ta maison ? OUI NON ☐

10. Y a-t-il des latrines dans ta maison ? OUI ☐ NON ☐

11. Dans ta famille combien de personnes sont :

Cultivateurs ☐ Assistants Médicaux ☐ Infirmiers ☐

Enseignants ☐ Menuisiers ☐ Mécaniciens ☐

Boutiquiers ☐ Tailleurs ☐ Techniciens de laboratoire ☐

Entrepreneurs ☐ Commerçants ☐ Autres(précisez) ☐

12. Dans ta famille , est –ce que vous achetez de l’eau potable?

OUI ☐ NON ☐

Si oui, Combien de litres par semaine ? ☐ LITRES

13. Accepteriez – vous qu’on réalise un projet d’ adduction d’eau potable

pour le village? OUI ☐ NON ☐

☐

OBSERVATIONS PERSONNELLES:

RESULTAT DU QUESTIONNAIRE



APEYEME		QUARTIER						
		ZONGO	NYAMEGBE	KPODZI	WASHINGTON	DOME	KLOMPE	ADAMPE
1	Enfants de 0 à 1 ans	19	5	29	11	24	61	62
2	Enfants de 1 à 5 ans	65	16	81	34	57	131	137
3	Enfants 5 à 14 ans	106	31	137	75	92	165	145
4	Enfants 15 à 19 ans	99	17	96	78	73	118	94
5	Femmes adultes de 20 à 44 ans	101	25	118	67	99	187	173
6	Hommes adultes de 20 à 44 ans	133	15	135	42	87	171	165
7	Adultes ayant plus de 45 ans	40	16	60	39	45	112	120
8	Personnes qui vivent	563	125	656	346	477	945	896
9	Enfants qui vont à l'école	282	61	280	185	161	333	346
10	Nombre de maisons avec lumière	20	6	25	10	13	21	29
11	Nombre de maisons avec latrines	20	5	26	13	7	17	20
12	Nombres de litres achetés par semaine	5041	925	12145	1285	8960	7950	16907
13	Nombres de familles qui achètent l'eau potable	22	4	29	9	25	23	54
14	Nombres de familles qui vivent	60	15	64	35	44	69	92



		TOTAL	POURCENTAGE
1	Personnes qui vivent à APEYEME	4008	100%
2	Enfants de 0 à 1 ans	211	5%
3	Enfants de 1 à 5ans	521	13%
4	Enfants 5 à 14ans	751	19%
5	Enfants 15 à 19 ans	575	14%
6	Femmes adultes de 20 à 44 ans	770	19%
7	Hommes adultes de 20 à 44 ans	748	19%
8	Adultes ayant plus de 45 ans	432	11%
9	Enfants qui vont a l'école	1648	41%

		TOTAL	POURCENTAGE
1	Nombres de familles qui vivent à APEYEME	379	100%
2	Nombre de maisons avec lumière	124	33%
3	Nombre de maisons avec latrines	108	28%
4	Nombre de maisons sans lumière	255	67%
5	Nombre de maisons sans latrines	271	72%

		TOTAL	POURCENTAGE
1	Nombres de familles qui achètent l'eau potable	166	44%
2	Nombres de litres achetés par semaine	53213	

RESULTAT DU QUESTIONNAIRE



TODOME		QUARTIER						
		NYABIE	AKLOBOE	DAKU-KOSSI	AKPA	KOSSIFI	NUATO	NKUVIFE
1	Enfants de 0 à 1 ans	13	9	21	13	38	29	16
2	Enfants de 1 à 5 ans	42	43	44	33	85	31	41
3	Enfants 5 à 14 ans	78	76	49	64	148	60	51
4	Enfants 15 à 19 ans	78	57	26	39	81	28	22
5	Femmes adultes de 20 à 44 ans	72	96	57	60	146	58	51
6	Hommes adultes de 20 à 44 ans	68	62	70	49	114	59	48
7	Adultes ayant plus de 45 ans	133	93	49	50	91	41	35
8	Personnes qui vivent	484	436	316	308	703	306	264
9	Enfants qui vont à l'école	153	165	107	117	248	89	86
10	Nombre de maisons avec lumière	2	13	6	4	19	4	9
11	Nombre de maisons avec latrines	0	10	4	3	7	2	6
12	Nombres de litres achetés par semaine	0	0	7017	0	3650	165	670
13	Nombres de familles qui achètent l'eau potable	0	0	7	0	8	2	5
14	Nombres de familles qui vivent	26	27	20	25	59	23	25



	TOTAL	POURCENTAGE
1 Personnes qui vivent à TODOME	2817	100%
2 Enfants de 0 à 1 ans	139	5%
3 Enfants de 1 à 5 ans	319	11%
4 Enfants 5 à 14 ans	526	19%
5 Enfants 15 à 19 ans	331	12%
6 Femmes adultes de 20 à 44 ans	540	19%
7 Hommes adultes de 20 à 44 ans	470	17%
8 Adultes ayant plus de 45 ans	492	17%
9 Enfants qui vont à l'école	965	34%

	TOTAL	POURCENTAGE
1 Nombres de familles qui vivent à TODOME	205	100%
2 Nombre de maisons avec lumière	57	28%
3 Nombre de maisons avec latrines	32	16%
4 Nombre de maisons sans lumière	148	72%
5 Nombre de maisons sans latrines	173	84%

	TOTAL	POURCENTAGE
1 Nombres de familles qui achètent l'eau potable	22	11%
2 Nombres de litres achetés par semaine	11502	—

ANEXOS III

Maquinaria y riegos



GARCÍA HERMANOS, S.L.

Teléfonos 926 87 03 03 – 87 05 82 - Fax. 926 87 01 01
Ctra. Daimiel, s/n. – 13260 BOLAÑOS (Ciudad Real) - ESPAÑA
E-MAIL: gh@garcia-hermanos.com WEB: www.garcia-hermanos.com
NIF: B-13008511

CLIENTE: JESUS SERRANO **OFERTA N°** 1206/08
DIRECCIÓN:

TELEFONO: 669 731 730 **FAX:** 913525473
ATT.: ALFONSO
FECHA: 12 DE JUNIO DE 2008

UDS.	CONCEPTO	PRECIO	DTO.	TOTAL
1	GRUPO MOTOBOMBA DIESEL CON MOTOR DEUTZ CAPAZ DE OBEDECER A LAS SIGUIENTES CARRACTERISTICAS	13.590,00	35,00	8.833,50
	CAUDAL 30.000 LTS./HORA			
	ALTURA MANOMETRICA 140 METROS			
	N° ETAPAS 6			
	VELOCIDAD 1750 r.p.m.			
	POTENCIA ABSORVIDA 15,8 Kw			
	COMPUESTO POR:			
	MOTOR DEUTZ F3L912			
	ARRANQUE ELECTRICO			
	ELECTROIMAN DE PARADA			
	PROTECCION DE CORREAS			
	SILENCIADOR COLECTOR DE ESCAPE			
	CUADRO CON RELOJ DE PARADA			
	BOMBA			
	ACOPLAMIENTO ELASTICO			
	BANCADA			
	BATERIA CON INSTALACION			
	VALIDEZ DE LA OFERTA: 20 DIAS			
	Un saludo			
	Manuel Ruiz			
TOTAL MERCANCIA				8.833,50
IVA 16 %				1.413,36
TOTAL PRESUPUESTO				10.246,86

ANEXOS IV



Société Togolaise des Eaux

Direction Technique
Sous-Direction Laboratoire Central

FACTURE

N° 93 /TdE/SDLC/2007

Doit :

I R O K O

Forfait de : **QUATRE VINGT SEPT MILLE (87 000) FRANCS CFA** pour les analyses bactériologiques et de quelques paramètres physico-chimiques de l'eau de source.

Arrêté la présente facture à la somme de : **QUATRE VINGT SEPT MILLE (87 000) FRANCS CFA.**

Lomé, le 25 octobre 2007

Le Sous-Directeur Laboratoire Central,



B. K. DOLAAMA



RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES : EAU DE IROKO

POINTS DE PRELEVEMENT		M1	
PARAMETRES	METHODE UTILISEE OU APPAREILLAGE		DIRECTIVES O.M.S.
Date et heure de prélèvement	18/09/2007	10 H 09	
Date et heure d'arrivée au LABO	18/09/2007	21 H 30	
Aspect macroscopique		eau claire+MES	
Sédimentation		Léger dépôt	absence
Couleur (mg/l pt)	Photomètre à filtre	incolore	incolore
Odeur et Saveur	Appréciation subjective	absence	absence
Chlore résiduel (mg/l)	Comparateur	-	traces < Cl ₂ L <1,5
Température (°C)	Thermo. ou pH-mètre	24,4	
PH	Compara. (PH/mètre)	6,25	6,5≤pH≤ 8,5
Turbidité (NTU)	Turbidimètre	1,2	< 5
Conductivité (μs/cm)	Conductimètre	11	
Chlorures (mg/l)	Argentimétrie	-	≤ 250
Ammonium (mg/l)	Photomètre isis 9000	-	≤ 1,5
Titre alcalimétrique (TA) (°F)	Acidimétrie	-	
Titre alcal. complet (TAC) (°F)	Acidimétrie	-	
Dureté calcique (THca) (°F)	complexométrie	-	
Dureté magnés. (THMg) (°F)	Complexométrie	-	
TH (Dureté totale) (°F)	Complexométrie	0	≤ 50
Fer (Fe) (mg/l)	Spectropho. UV visible	-	≤ 0,3
Manganèse (mg/l)	Photomètre isis 9000	-	≤ 0,5
Nitrates (mg/l)	Photomètre isis 9000	-	≤ 50
Nitrites (mg/l)	Photomètre isis 9000	-	≤ 3
Sulfates (mg/l)	Photomètre isis 9000	-	<500
Silice (mg/l)	Photomètre isis 9000	-	
Phosphates (mg/l)	Photomètre isis 9000	-	
Oxydabilité (mg/l de O2)	Au KMnO4	-	≤ 5
OBSERVATIONS : Eau très faiblement minéralisée, très douce avec des matières en suspension et un peu acide. Elle nécessite un traitement de clarification par filtration.			

Lomé, le 25/10/2007
Le Sous-Directeur Laboratoire Central,



POINTS DE PRELEVEMENT		M1
Date et Heure de prélèvement :	19/10/2007	6H12
Date et Heure d'arrivée au Labo :	19/10/2007	12H45
Conditions de prélèvement		non aseptiques
Taux de désinfectant à la prise (mg/l)		0
I - EXAMEN MACROSCOPIQUE DE L'ECHANTILLON		
		Eau claire
		avec
		MES
II - RECHERCHE ET DENOMBREMENT DE GERMES TESTS DE POLLUTION		
1° Germes totaux dans 1 ml à 37° C		Innombrables
2° Coliformes totaux dans 100ml à 37°C		0,00
3° Coliformes fécaux dans 100 ml à 44° C		0,00
4° Streptocoques fécaux dans 100 ml à 37° C		NPP > 240
5° Clostridium sulfito-réducteurs dans 100 ml à 37° C		0,00
6° Staphylocoques à 37° C		0,00
III - RECHERCHES SPECIFIQUES		
		<i>diplocoques, tétracoques, cocci en chaînettes gram positif</i>
IV - CONCLUSION : Eau avec la présence des streptocoques fécaux.		
Elle nécessite un traitement d'appoint de désinfection afin de la rendre potable pour la consommation humaine.		

Lomé, le 05/10/2007
Le Sous-Directeur Laboratoire,
K.B. DOLAVAMA

ANEXO V

CAPTACIÓN				
DENOMINACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
DERIVACIÓN		256,5	0	
REJAS 120 mm	1	10	10	u
REJAS 50 mm	1	10	10	u
REJAS 15 mm	1	10	10	u
COMPUERTAS	3	40	120	u
Oficial primera	16	5	80	h.
Peón especializado	16	3	48	h.
Hormigón SACO CEMENTO H-15	1	50	50	u
ARENA	1	6	6	m3
GRAVA	0,5	14	7	m3
PLANCHAS DE MADERA	10	6	60	u
PUNTAS	1	5,5	5,5	u
		TOTAL	256,5	
TRATAMIENTO FISICO				
DENOMINACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
PLANCHA DE MADERA 0,20 X 0,65X 2	20	12,00 €	240,00 €	u
PLANCHA DE MADERA 0,10 X 0,65 X 2	15	10,00 €	150,00 €	u
VIGUETAS DE MADERA 0,20 X 0,20 X 1,30	15	11,00 €	165,00 €	u
TELA IMPERMEABILIZANTE	150	5,00 €	750,00 €	m2
REJILLA GEOTEXTIL	11	3,00 €	33,00 €	m
TUB PVC 90mm 4atm	15	5,00 €	75,00 €	m
RECOGEDORES DE PLASTICO	4	7,00 €	28,00 €	u
GRAVA 10- 20 mm	26	16,00 €	416,00 €	m3
GRAVA 5-10 mm	26	18,00 €	468,00 €	m3
VALVULAS DE COMPUERTA	4	12,00 €	48,00 €	u
TUBO PVC 150mm 4atm	5	11,00 €	55,00 €	m
Oficial primera	16	5,00 €	80,00 €	h.
Peón especializado	72	3,00 €	216,00 €	h.
		TOTAL	2.724,00 €	
CASETA DE LA MOTOBOMBA				
DENOMINACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
Oficial primera	16	5,00 €	80,00 €	h.
Peón especializado	16	3,00 €	48,00 €	h.
Hormigón SACO CEMENTO H-15	1,5	50,00 €	75,00 €	u
ARENA	1,5	6,00 €	9,00 €	m3
GRAVA	0,5	14,00 €	7,00 €	m3
PLANCHAS DE MADERA	10	6,00 €	60,00 €	u
PUNTAS	10	5,50 €	55,00 €	u
BAMBU			- €	
CERCHAS MADERA	70	6,00 €	420,00 €	u
PILARES DE MADERA 0,30X0,30	8	12,00 €	96,00 €	u
CUERDA	80	1,00 €	80,00 €	m
ARMADURA B500-S 15 mm	30	12,00 €	360,00 €	u
BARRA DOBLADA B500-15	4	14,00 €	56,00 €	u
		TOTAL	1.346,00 €	

DEPOSITO DE 30 m4				
DENOMINACIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
ARMADURA B500-S 15 mm	130	12,00 €	1.560,00 €	u
HORMIGON DE LIMPIEZA- H15	0,8	50,00 €	40,00 €	m3
BARRA DOBLADA B500-15	4	14,00 €	56,00 €	u
LOSA	3	50,00 €	150,00 €	m3
Oficial primera	32	5,00 €	160,00 €	h.
Peón especializado	80	3,00 €	240,00 €	h.
Hormigón SACO CEMENTO H-15	7	50,00 €	350,00 €	u
ARENA	1	6,00 €	6,00 €	m3
GRAVA	5	14,00 €	70,00 €	m3
PLANCHAS DE MADERA	25	6,00 €	150,00 €	u
PUNTAS	5	5,50 €	27,50 €	u
TELA IMPERMEABILIZANTE	28	5,00 €	140,00 €	m2
ARENA LOSA	3	6,00 €	18,00 €	m3
LADRILLOS	950	1,50 €	1.425,00 €	u
TOTAL			4.392,50 €	

CONDUCCION				
DENOMINACIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
VALVULA CLAPETA	1	9,00 €	9,00 €	u
VALVULA DE COMPUERTA	1	10,00 €	10,00 €	u
VALVULA DE TORNILLO	1	12,00 €	12,00 €	u
HIERRO GALVANIZADO	4	20,00 €	80,00 €	m
PVC 90mm 16 atm	2.500,00	8,00 €	20.000,00 €	m
PVC 125mm 4 atm	3	8,00 €	24,00 €	m
MOTOBOMBA	2	12.000,00 €	24.000,00 €	u
TOTAL			44135	

DEPOSITO DE 150 m4				
DENOMINACIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
TUB PVC 125 mm 4 atm	20	9,00 €	180,00 €	m
ARMADURA B500-S 15 mm	350	12,00 €	4.200,00 €	u
HORMIGON DE LIMPIEZA- H15	4	50,00 €	200,00 €	m3
BARRA DOBLADA B500-15	8	14,00 €	112,00 €	u
LOSA	15	50,00 €	750,00 €	m3
Oficial primera	56	5,00 €	280,00 €	h.
Peón especializado	128	3,00 €	384,00 €	h.
Hormigón SACO CEMENTO H-15	7	50,00 €	350,00 €	u
ARENA	4	6,00 €	24,00 €	m3
GRAVA	10	14,00 €	140,00 €	m3
PLANCHAS DE MADERA	200	6,00 €	1.200,00 €	u
PUNTAS	40	5,50 €	220,00 €	u
TELA IMPERMEABILIZANTE	100	5,00 €	500,00 €	m2
ARENA LOSA	15	6,00 €	90,00 €	m3
LADRILLOS	2.600,00	1,50 €	3.900,00 €	u
TEJADO		414,00 €	- €	
CHAPAS DE ALUMNIO	30	5,30 €	159,00 €	u
CERCHAS 0,45X0,2X4	30	8,50 €	255,00 €	u
TOTAL			12.944,00 €	

DISTRIBUCION				
DENOMINACIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES

TEE RED.C-10 160x110	20	2,00 €	40,00 €	u
TEE PVC C-10 140x140	4	1,80 €	7,20 €	u
TEE RED.C-10 75x63	4	1,20 €	4,80 €	u
TEE RED.C-10 50x32	4	1,10 €	4,40 €	u
TEE PVC C-10 32x32m.	10	1,30 €	13,00 €	u
TEE PVC C-10 90x32m.	20	1,40 €	28,00 €	u
TUBO 32	50	0,65 €	32,50 €	m
TUBO 90	1.650,00	1,10 €	1.815,00 €	m
TUBO 110	550	2,25 €	1.237,50 €	m
TUBO 140	1.300,00	3,05 €	3.965,00 €	m
TUBO160	1.250,00	4,10 €	5.125,00 €	m
TEE RED.C-10 110x63	20	1,25 €	25,00 €	u
RED.CORTA C-10 110x90	8	3,00 €	24,00 €	u
RED.CORTA C-10 90x75	10	2,70 €	27,00 €	u
RED.CORTA C-10 75x50	10	2,10 €	21,00 €	u
RED.CORTA C-10 50x32	10	1,10 €	11,00 €	u
RED.CORTA C-10 90x63	10	2,90 €	29,00 €	u
RED.CORTA C-10 63x32	25	1,90 €	47,50 €	u
RED.CORTA C-10 75x63	8	2,10 €	16,80 €	u
RED.CORTA C-10 63x32	30	1,90 €	57,00 €	u
CODO PVC C-10 110x90	6	7,80 €	46,80 €	u
Válvulas de compuerta DISTRIBUCION	10	7,00 €	70,00 €	u
CODO C-10 HI 32x1"	60	1,20 €	72,00 €	u
Contadores	30	6,50 €	195,00 €	u
Válvulas de compuerta FUENTES	30	7,00 €	210,00 €	u
LLAVE DE ESFERA LATÓN 1" 25mm	30	8,10 €	243,00 €	u

TOTAL 13.367,50 €

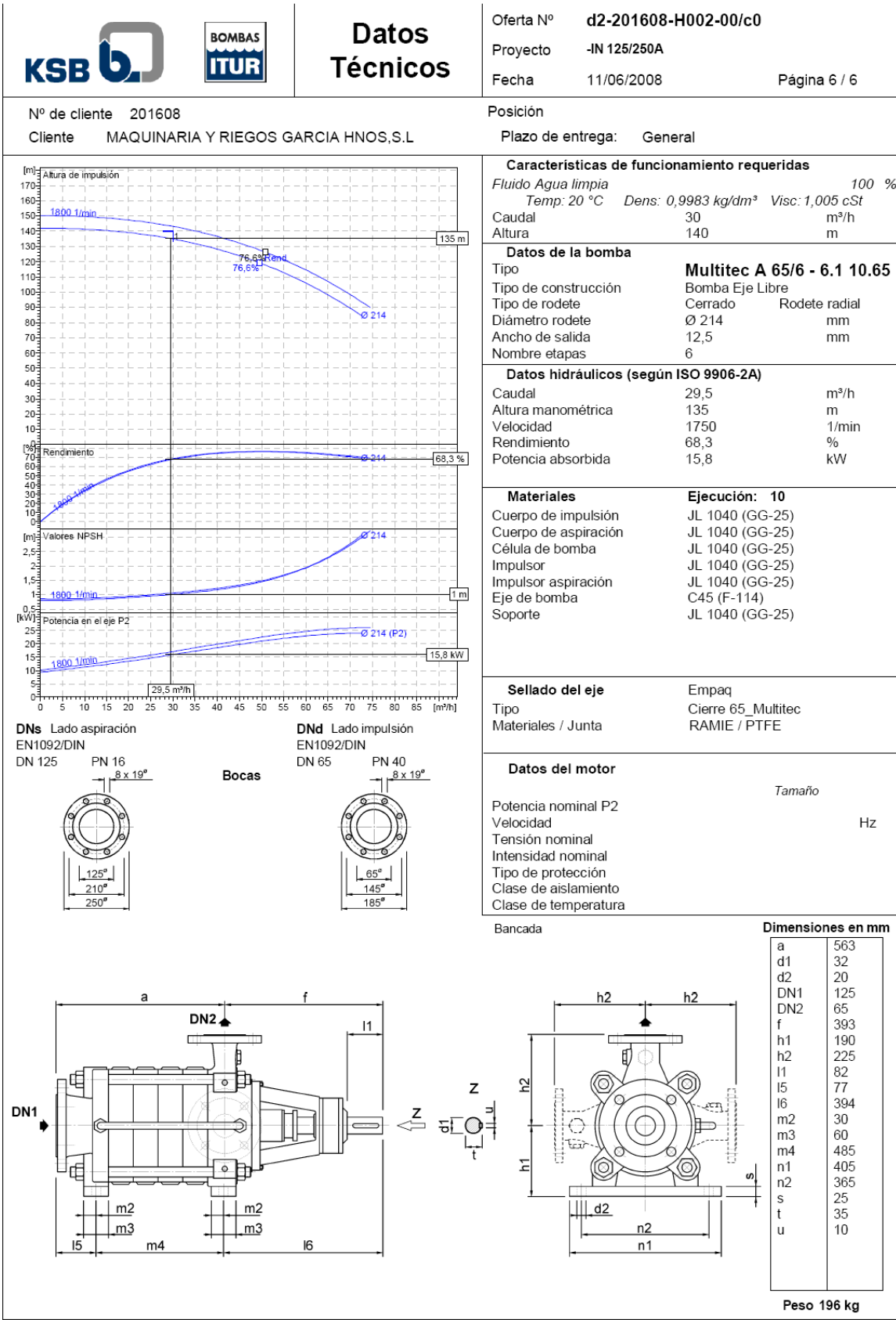
FUENTES				
DENOMINACIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
Oficial primera	24	5,00 €	120,00 €	h.
Peón especializado	72	3,00 €	216,00 €	h.
Hormigón SACO CEMENTO H-15	9	50,00 €	450,00 €	u
ARENA	9	6,00 €	54,00 €	m3
GRAVA	6	14,00 €	84,00 €	m3
PLANCHAS DE MADERA	30	6,00 €	180,00 €	u
PUNTAS	50	5,50 €	275,00 €	u

TOTAL 1.379,00 €

MATERIAL DE TRABAJO Y COMBUSTIBLE				
DENOMINACIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	UNIDADES
PALAS	20	15,00 €	300,00 €	u
ALICATES	12	8,00 €	96,00 €	u
DESTORNILADORES	12	8,25 €	99,00 €	u
CUERDA	100	0,50 €	50,00 €	m
MARTILLOS	15	7,25 €	108,75 €	u
SIERRA DENTADA	7	9,00 €	63,00 €	u
ALAMBRE DE AMARRE	60	3,50 €	210,00 €	m
CARRETILLA	10	17,00 €	170,00 €	u
PICOS	10	14,00 €	140,00 €	u
GASOI	0,89	5.000,00 €	4.450,00 €	l

TOTAL 5.686,75 €

ANEXO VI



PLANOS